



TUGAS AKHIR (KONVERSI ENERGI) - TM141585

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK
PENGERINGAN BATUBARA
TERHADAP VARIASI TEMPERATUR
PENGERINGAN PADA SWIRLING
FLUIDIZED BED COAL DRYER**

**AJI PUTERA ASTAGINA
NRP. 2110100155**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT (ENERGY CONVERSION) - TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF COAL
DRYING CHARACTERISTIC TO THE
VARIATION OF INLET AIR
TEMPERATURE OF SWIRLING
FLUIDIZED BED COAL DRYER**

**AJI PUTERA ASTAGINA
NRP. 2110100155**

**Academic Supervisor
Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK
PENGERINGAN BATUBARA TERHADAP VARIASI
TEMPERATUR PENGERINGAN PADA *SWIRLING*
*FLUIDIZED BED COAL DRYER***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AJI PUTERA ASTAGINA
NRP. 2110100155

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Prabowo, M Eng (Pembimbing)
(NIP. 196505051990031005)
2. Ir. Kadarisman (Penguji I)
(NIP. 194901091974121001)
3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Penguji II)
(NIP. 197301161997021001)
4. Giri Nugroho, ST, MSc (Penguji III)
(NIP. 197910292012121002)

SURABAYA
JULI, 2015

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK PENGERINGAN BATUBARA TERHADAP VARIASI TEMPERATUR PENGERINGAN PADA SWIRLING FLUIDIZED BED COAL DRYER

Nama : Aji Putera Astagina
NRP : 2110 100 155
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Prabowo, M. Eng

Abstrak

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dalam pengoperasiannya membutuhkan bahan bakar yaitu batubara. Indonesia sendiri penggunaan batubara dengan nilai kalor rendah banyak digunakan. Dengan nilai kalor yang rendah maka kebutuhan dari boiler untuk batubara semakin banyak. Secara umum boiler membutuhkan pulverized coal yaitu batubara yang dihaluskan oleh pulverizer sebelum memasuki boiler. Dengan batubara berkalori rendah maka pulverizer harus bekerja maksimal untuk memasok batubara ke boiler. Hal ini akan mempengaruhi umur kerja dari pulverizer tersebut. Oleh karena itu batubara yang digunakan harus diberikan perlakuan khusus untuk meningkatkan kualitasnya. Peningkatan kualitas batubara telah dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan airnya. Swirling Fluidized Bed Dryer merupakan salah satu alat untuk mengeringkan batubara sehingga nilai kalornya menjadi lebih baik.

Eksperimen dilakukan dengan alat percobaan yang sudah ada. Percobaan dilakukan dengan sampel seberat 600gr dengan diameter rata-rata 6mm. Sampel dikeringkan pada drying chamber dengan pengambilan sampel pada tiap menit pada lima menit pertama, tiap dua menit pada enam menit kemudian, dan tiap lima menit pada lima belas menit kemudian. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven selama tiga jam sesuai dengan standar

ASTM. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan temperatur inlet udara pada 40°C, 50°C, dan 60° C.

Hasil yang didapatkan dari eksperimen ni adalah temperatur dry bulb inlet dan outlet udara pengering, kelembaban relatif inlet, dan outlet udara pengering, serta massa basah dan massa kering dari batubara. Dari data yang didapatkan tersebutkan dibuat grafik relative humidity, grafik temperatur outlet, grafik moisture content, grafik drying rate, grafik koefisien perpindahan masa, dan proses pengeringan pada diagram psikometrik yang terjadi pada udara.

Kata kunci : Swirling Fluidized Bed Dryer, laju pengeringan , moisture content, psikometrik chart

EXPERIMENTAL STUDY OF COAL DRYING CHARACTERISTIC TO THE VARIATION OF INLET AIR TEMPERATURE OF SWIRLING FLUIDIZED BED COAL DRYER

Student Name : Aji Putera Astagina
NRP : 2110 100 155
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecturer : Prof. Dr. Eng. Prabowo, M. Eng

Abstract

Steam Power Plant in its operation requires coal as its fuel. In Indonesia a low calorific value of coal often used. A Boiler that uses a low calorific coal needs more fuel. Generally boiler needs a coal pulverizer which is used to pulverize coal before it enters the boiler. With the low calorific coal as it fuels, pulverizer must work optimally to supply coal to the boiler. This will affect the life of the working pulverizer. Therefore coal that used as fuel should be given special treatment to improve their quality. To improve its quality, it can be done with reducing its water content. Swirling Fluidized Bed Dryer is one of the tool for coal drying so it can increase its calorific value.

Experiments carried out by means of existing experiments equipment. Experiments conducted with sample of 600gr and average diameter of 6mm. Samples were dried in the drying chamber with sampling at every minute in the first five minutes, afterward every two minutes on six, then every five minutes on fifteen minutes later. The sample then dried in an oven for three hours in accordance with ASTM standards. Experiments carried out by varying the temperature of the inlet air at 40°C, 45°C, and 50° C.

Results obtained from the experiments are the dry bul tempreature of inlet and outlet air dryer, the relative humidity of

inlet and outlet air dryer, as well as the wet mass and dry mass of coal. From the data obtained it can be plotted to relative humidity graphic, temperatur of outlet graphic, drying rate graphic, mass transfer coefisien graphic, and the process of drying on psychometric diagam.

Keyword : Swirling fluidized bed dryer, drying rates, moisture content, psychometric chart.

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul studi eksperimen karakteristik pengeringan batubara terhadap variasi temperatur pengeringan pada *swirling fluidized bed coal dryer*. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Kadarisman, Dr. Bambang Sudarmanta, S.T, M.T, dan Giri Nugroho, S.T, M.Sc, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis.
3. Bapak Arif Wahyudi, S.T, M.T, Ph.D, selaku dosen wali yang telah memberikan arahan-arahannya kepada penulis selama masa perkuliahan tahap Sarjana.
4. Seluruh dosen serta karyawan di Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan banyak sekali bantuan selama penulis berkuliah, baik akademis maupun non akademis.
5. Teman-teman Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa yang selalu memberikan ilmu, bantuan, dan dukungan.
6. Teman-teman angkatan M53 kekeluargaan, ilmu dan pengalamannya.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu. Penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari

sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Swirling Fluidized Bed Coal Dryer	5
2.1.2 Proses Pengeringan Batubara.....	6
2.1.3 Prinsip Psychometric Chart	11
2.1.4 Konsep Perpindahan Panas dan Massa	14
2.1.5 Profil Swirler Fluidized Bed	15
2.2 Penelitian Terhadulu.....	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Instalasi Peralatan.....	23
3.2 Variable Penelitian	27
3.3 Peralatan Penunjang Eksperimen	28
3.4 Metodologi Eksperimen	32
3.4.1 Tahap Persiapan	32
3.4.2 Tahap Pengamatan	35
3.4.3 Tahap Analisa Data Eksperimen	38
3.5 Lembar Pengambilan Data	38

3.6 Diagram Alir Pengambilan Data	39
3.6 Diagram Alir Pengolahan Data	41

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Data Hasil Percobaan	45
4.2 Analisa dan Contoh Perhitungan	45
4.2.1 Perhitungan Kecepatan Fluidisasi Minimum.....	45
4.2.2 Analisa Udara	46
4.2.2.1 Analisa Diagram Psikometrik.....	46
4.2.2.2 Analisa Grafik Relative Humidity fungsi Waktu	47
4.2.2.3 Analisa Grafik Tout Udara fungsi Waktu	48
4.2.2.4 Perhitungan Uap Air Pada Udara	49
4.2.3 Analisa Batubara	50
4.2.3.1 Analisa Sampel Batubara.....	50
4.2.3.2 Perhitungan Uap Air dari Batubara	52
4.2.3.3 Analisa Moisture Content Fungsi Waktu	53
4.2.3.4 Perhitungan Drying Rate	54
4.2.3.5. Analisa Drying Rate	55
4.2.4 Analisa Grafik Perpindahan Masa	57
4.2.5 Perhitungan Koefisien Perpindahan Masa	58
4.2.6 Analisa Koefisien Perpindahan Masa	59

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN.....	64
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Konsumsi Barubara pada Industri di Indonesia ...	2
Tabel 3.1 Lembar Pengambilan Data.....	38
Tabel 4.1 RH dan Temperatur pada dua menit pertama	49
Tabel 4.2 Data massa kering dan massa basah dari batubara pada dua menit pertama	52
Tabel 4.3 Data Moisire content pada tiap variasi temperatur pengering.....	54

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jenis-jenis batubara	2
Gambar 2.1 <i>Swirling Fluidized Bed Coal Dryer</i>	5
Gambar 2.2 Ilustrasi arah aliran udara pengering	6
Gambar 2.3 Skematik proses fluidisasi.....	6
Gambar 2.4 Kurva Periode Proses Pengeringan	8
Gambar 2.5 Proses pada <i>psychometric chart</i>	11
Gambar 2.6 Tahap pengeringan pada <i>Psychometric Chart</i> ...	13
Gambar 2.7 Profil <i>Swirler Blade</i>	16
Gambar 2.8 Dimensi sudu <i>blade</i>	17
Gambar 2.9 Sudut dari <i>blade</i>	18
Gambar 2.10 Fluidized Bed Coal Dryer pada penelitian Levy	19
Gambar 2.11 Grafik pengaruh temperatur udara pengering pada <i>drying rate</i> untuk dua jenis batubara.....	19
Gambar 2.12 <i>Fluidized bed coal dryer</i> dengan tube heater tersusun <i>aligned</i>	20
Gambar 2.13 Grafik pengaruh temperatur udara pengering terhadap <i>drying rate</i> pada beberapa tingkat kecepatan udara.....	21
Gambar 3.1 Skema <i>Swirling Fluidized Bed Coal Dryer</i>	23
Gambar 3.2 Skema Drying Chamber.....	24
Gambar 3.3 Pemasangan Alat Ukur pada Ruang Pengeringan	24
Gambar 3.4 Instalasi Alat Percobaan.....	25
Gambar 3.5 Profil <i>Swirler Blade</i>	26
Gambar 3.6 Dimensi kepingan <i>blade</i>	26
Gambar 3.7 Sudut yang akan divariasikan.....	27
Gambar 3.8 Alat ukur. (a) Anemometer; (b) Rh-meter; (c) Timbangan digital; (d) Thermocouple; (e) Thermoselector.....	31
Gambar 3.9 Pengayakan batubara.....	31
Gambar 3.10 Penimbangan batubara	32
Gambar 3.11 Aquades dan <i>water tank</i>	33
Gambar 3.12 Radiator.....	33

Gambar 3.13	<i>Drying chamber</i> sebelum dan sesudah dipasang <i>blade</i>	34
Gambar 3.14	Voltage regulator dan peletakkan anemometer	35
Gambar 3.15	Alat pengukur RH dan temperatur	35
Gambar 3.16	Memasukkan sampel	36
Gambar 3.17	Sebelum dan sesudah pengambilan sampel	37
Gambar 3.18	Proses pengovenan	37
Gambar 3.19	Penimbangan berat kering batubara	38
Gambar 4.1	Data penelitian dalam diagram psikometrik	46
Gambar 4.2	Pengaruh temperatur udara pengering terhadap <i>relative humidity</i>	47
Gambar 4.3	Pengaruh temperatur udara pengering terhadap temperatur outlet pengering	48
Gambar 4.4	Masa sampel batubara pada tiap variasi temperatur udara pengering (a) 40°C (b) 45°C (c) 50°C.....	51
Gambar 4.5	Pengaruh Temperatur Pengeringan terhadap <i>moisture content</i>	53
Gambar 4.6	Pengaruh temperatur pengering pada <i>drying rate</i> fungsi waktu	55
Gambar 4.7	Pengaruh temperatur udara pengering terhadap rata-rata <i>drying rate</i>	56
Gambar 4.8	Perbandingan uap air yang dilepas batubara dengan kandungan uap air di udara untuk temperatur pengeringan (a) 50°C (b) 45°C (c) 40°C	57
Gambar 4.9	Pengaruh temperatur udara terhadap koefisien perpindahan masa	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

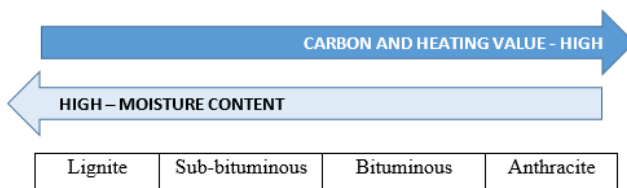
Dalam kehidupan sehari-hari energi merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting bagi setiap individu. Tentunya dalam sebuah negara yang berjumlah penduduk sangat besar seperti Indonesia memiliki kebutuhan energi yang besar. Kekayaan alam Indonesia memberikan beberapa alternatif untuk membangkitkan energi. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

PLTU dalam pengoperasiannya membutuhkan bahan bakar yaitu batubara. Dari tabel 1.1 dapat dilihat bahwa kebutuhan batubara untuk di Indonesia khususnya untuk pengoperasian PLTU sendiri sangat besar.

Batubara sendiri dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan kandungan air dan nilai kalori batu bara tersebut, hal ini dapat dilihat pada gambar 1.2. Di Indonesia sendiri penggunaan batubara dengan kandungan air tinggi banyak digunakan. Dengan nilai kalor yang rendah maka kebutuhan dari *boiler* untuk batubara semakin banyak. Secara umum *boiler* membutuhkan *pulverized coal* yaitu batubara yang dihaluskan oleh *pulverizer* sebelum memasuki *boiler*. Dengan batubara berkalori rendah maka *pulverizer* harus bekerja maksimal untuk memasok batubara ke boiler. Hal ini akan mempengaruhi umur kerja dari *pulverizer* tersebut. Oleh karena itu batubara yang digunakan harus diberikan perlakuan khusus untuk meningkatkan kualitasnya.

Tabel 1.1 Konsumsi Batubara pada Industri di Indonesia [1]

Jenis Industri	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PLTU	10.9 11.3 41	13.04 7.717	13.94 3.613	19.16 5.256	21.90 2.161	23.81 0.054	23.49 2.328	25.13 2.174
Semen	1.27 9.97 3	2.762. 831	3.763. 884	5.938. 172	5.355. 460	5.068. 194	6.070. 825	6.023. 248
Industri Tekstil	-	-	-	-	-	274.1 60	381.4 40	1.307. 610
Industri Kertas	692. 737	805.3 97	766.5 49	804.2 02	471.7 51	1.680. 304	1.106. 227	2.272. 443
Metalurgi	144. 907	123.2 26	134.3 93	220.6 66	236.8 02	225.9 07	122.8 27	160.4 90
Briket	29.9 63	38.30 2	36.79 9	31.26 5	24.70 8	24.97 6	23.50 6	28.62 7
Lain-lain	2.60 0.55 0	2.573. 355	5.545. 609	2.407. 667	3.792. 481	3.715. 840	5.237. 639	417.5 83
Jumlah	15.6 59.4 71	19.35 0.828	24.19 0.847	28.56 7.228	31.78 3.364	35.77 9.436	36.43 4.791	35.34 1.816

**Gambar 1.1** Jenis-jenis batubara

Peningkatan kualitas batubara telah dapat dilakukan dengan pengurangan kandungan airnya dengan beberapa teknologi. *Swirling Fluidized Bed Dryer* merupakan salah satu alat

untuk mengeringkan batubara sehingga nilai kalornya menjadi lebih baik. Alat ini merupakan pengembangan dari *Fluidized Bed Dryer* yaitu dengan memberikan olakan pada aliran sehingga *Swirling Fluidized Bed Dryer* memiliki laju pengeringan yang relatif lebih cepat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur inlet udara pengering (40°C, 45°C, 50°C) terhadap karakteristik laju pengeringan pada ruang pengering batubara *lignite* pada *swirling fluidized bed*.
2. Bagaimana perubahan *moisture content*, *specific humidity*, dan *relative humidity* seiring berjalannya waktu pengeringan.
3. Bagaimanakah cara untuk mengurangi jumlah *moisture content* di dalam batubara guna meningkatkan nilai kalor.

1.3 Batasan masalah

Penelitian yang dilakukan memerlukan beberapa batasan untuk menyederhanakan masalah, batasan masalah yang diberikan sebagai berikut :

1. Udara pengeringan dimodelkan sebagai gas ideal
2. Ruang Pengeringan terisolasi dengan baik
3. Temperatur, *specific humidity*, kecepatan udara pada inlet konstan
4. *Steady State*
5. Massa batubara sebelum proses pengeringan sama.
6. Diameter sampel batubara sama yaitu 6 mm dan berbentuk *granular spherical*

7. Beban pengeringan batubara konstan
8. Sudut blade yang digunakan 10°
9. Temperatur inlet udara pengering yang divariasikan 40°C, 45°C, dan, 50°C

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur inlet udara pengering (40°C, 45°C ,50°C) terhadap karakteristik laju pengeringan pada ruang pengering batubara *lignite* pada *swirling fluidized bed*.
2. Mengetahui perubahan *moisture content*, *spesifice humidity*, dan *relative humidity* seiring berjalannya waktu pengeringan.
3. Mengurangi jumlah *moisutire content* di dalam batubara guna meningkatkan nilai kalor

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai skema dan pengoperasian jenis alat pengeringan batubara *swirling fluidized bed*.
2. Menambah wawasan mengenai karakteristik proses pengeringan batubara kualitas rendah guna mengurangi kandungan air sehingga meningkatkan nilai kalornya
3. Memaksimal penggunaan batubara kualitas rendah yang ada di Indonesia dengan cara proses pengeringan

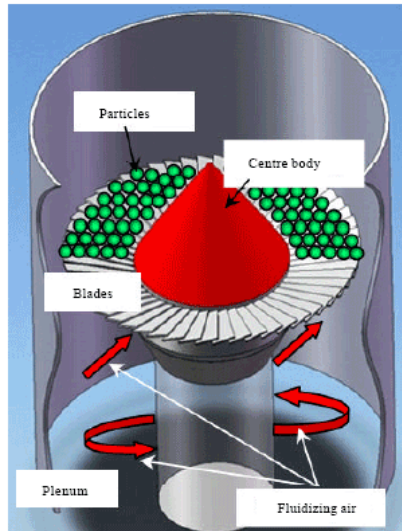
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Dasar Teori

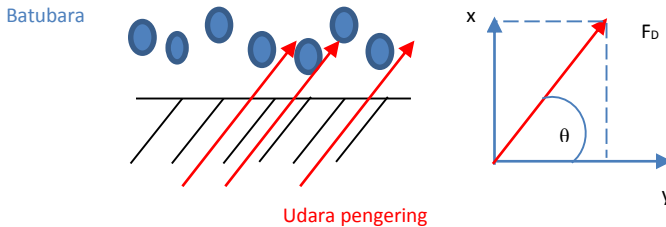
2.1.1 Swirling Fluidized Bed Coal Dryer

Fluidized Bed Coal Dryer adalah suatu alat pengering batu bara dengan menggunakan prinsip dasar fluidisasi, dimana fluidisasi dapat terjadi ketika partikel granular (partikel batubara) dilalui oleh fluida gas atau cair (udara pemanas) dengan kecepatan tertentu sehingga partikel granular dapat melayang. Melayangnya batubara ini diakibatkan oleh drag force udara yang lebih besar dibandingkan gaya bodi dan berat batubara itu sendiri. Sedangkan *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer* sendiri merupakan pengembangan dari *Fluidized Bed Coal Dryer* dengan memberikan sebuah aliran yang berputar untuk meningkatkan laju perpindahan.



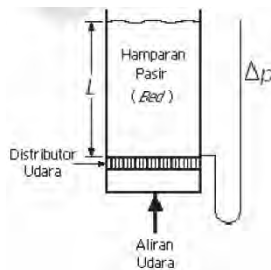
Gambar 2.1 *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer* [2]

Pada sistem ini udara pengering yang masuk ke dalam ruang pengeringan akan diarahkan oleh blade dengan sudut kemiringan tertentu sehingga akan menciptakan sebuah aliran yang berputar.



Gambar 2.2 Ilustrasi arah aliran udara pengering

Bila suatu zat cair atau gas dilewatkan melalui lapisan hamparan partikel padat (batubara) pada kecepatan rendah, maka partikel-partikel itu tidak bergerak. Jika kecepatan fluida berangsur-angsur dinaikkan, partikel-partikel itu akan mulai bergerak dan melayang di dalam fluida. Istilah “fluidisasi” (*fluidization*) dan “hamparan fluida” (*fluidized bed*) biasa digunakan untuk memeriksa keadaan partikel yang seluruhnya dalam keadaan melayang.



Gambar 2.3 Skematik proses fluidisasi [3]

Hal ini dapat dijelaskan dengan Hukum Hewton I sebagai berikut

$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \\ F_D \sin \theta + F_B - W &= 0 \\ F_D \sin \theta + F_B &= W\end{aligned}$$

Dari persamaan diatas kita dapat menghitung kecepatan minimum yang dibutuhkan yaitu:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_{udara} \cdot v^2 \cdot A \cdot \sin \theta + \forall \cdot \rho_{udara} \cdot g \\ = \rho_{batubara} \cdot \forall \cdot g \\ v = \sqrt{\frac{2 \rho_{batubara} \cdot \forall \cdot g - \forall \cdot \rho_{udara} \cdot g}{C_D \cdot \rho_{udara} \cdot A \cdot \sin \theta}} \dots (2.1)\end{aligned}$$

dimana :

- F_D = Gaya drag dari batubara, $(kg \cdot m/s^2)$
- F_B = Gaya bodi dari batubara, $(kg \cdot m/s^2)$
- W = Gaya berat dari batubara, $(kg \cdot m/s^2)$
- C_D = Koefisien drag dari batubara
- v = Kecepatan fluidisasi minimum, (m/s)
- A = Luas permukaan batubara, (m^2)
- \forall = Volume batubara, (m^3)
- g = Percepatan gravitasi, (m/s^2)

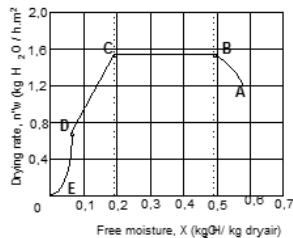
2.1.2 Proses Pengeringan Batubara

Proses pengeringan batubara berdasarkan prosesnya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu pengeringan alami dan

pengeringan buatan. Perbedaan dari kedua proses ini yaitu pengeringan alami hanya memanfaatkan energi panas dari matahari sehingga waktu pengeringan tidak dapat diperkirakan sedangkan pengeringan buatan menggunakan teknologi tertentu agar dapat mengendalikannya waktu pengeringan.

Proses pengeringan batubara pada dasarnya adalah untuk mengurangi kadar air pada produk untuk meningkatkan nilai kalor batubara. Dalam proses pengeringan sendiri terdapat dua tahap. Proses yang pertama adalah pergerakan air dari dalam batubara menuju lapisan luar batubara. Hal ini terjadi akibat dari perbedaan temperatur batubara akibat pemanasan yang terjadi. Pada tahap selanjutnya air yang telah berpindah menuju permukaan batubara akan menguap dan tercampur ke udara pemanas, yang mengakibatkan nilai kandungan air pada udara pemanas akan meningkat.

Laju pengeringan pada proses pengeringan memiliki tiga periode yaitu periode laju pengeringan naik, periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun.



Keterangan :

- A - B : periode pemanasan
- B - C : periode laju pengeringan konstan
- C - D : periode laju pengeringan menurun pertama
- C : kadar air kritis
- D - E : periode laju pengeringan menurun kedua

Gambar 2.4 Kurva Periode Proses Pengeringan [4]

a. Periode Laju Pengeringan Naik

Sesaat setelah bahan menerima panas dari udara pengering temperatur benda yang dikeringkan akan naik hingga mencapai kesetimbangan dengan *temperature wet bulb* udara (T_{wb}).

b. Periode Laju Pengeringan Konstan

Pada periode ini (B - C) permukaan bahan jenuh dengan uap air, temperatur uap air pada permukaan sama dengan T_{wb} udara pengering. Selama proses ini berlangsung kecepatan aliran air dari dalam bahan sama dengan kecepatan air yang diuapkan. Proses ini berakhir bila kadar air bebas bahan mencapai titik kritis (*critical moisture content*). Kadar air kritis adalah kadar air bebas terendah saat laju kecepatan air bebas ke permukaan sama dengan laju penguapan. Pada periode ini proses pengeringan bergantung pada faktor dari luar seperti laju aliran udara dan temperatur udara pengering.

c. Periode Laju Pengeringan Menurun

Titik C pada gambar adalah kadar air bebas kritis. Pada titik ini air pada permukaan tidak mencukupi untuk mempertahankan lapisan air yang kontinyu. Seluruh permukaan akan terus mengering sampai seluruh permukaan kering pada titik D. Pada fase kedua laju pengeringan menurun yang dimulai pada titik D saat seluruh permukaan batubara telah kering, panas yang tersedia digunakan untuk menguapkan air pada batubara dan selanjutnya karena perbedaan konsentrasi antara dalam dan permukaan maka air tersebut akan bergerak ke permukaan. Jumlah cairan yang diuapkan pada periode ini relatif kecil dan waktu yang diperlukan relatif lama.

Pada pengeringan batubara terdapat beberapa kajian yang akan digunakan untuk mengetahui pengaruh pengeringan itu sendiri yaitu:

- *Moisture Content*

Moisture Content didefinisikan sebagai massa air dalam produk dibagi massa produk basah

$$MC (\%)_{wb} = \frac{mp, \text{basah} - mp, \text{kering}}{mp, \text{basah}} \times 100\% \dots (2.2)$$

dimana :

$MC(\%)_{wb}$ = kadar air suatu bahan basis basah (%)

$M_{p, \text{basah}}$ = Massa batubara dalam keadaan basah (kg)

$M_{p, \text{kering}}$ = Massa batubara dalam keadaan kering (kg)

- *Drying rate*

Drying rate merupakan banyaknya pelepasan atau penguapan air pada suatu material dalam hal ini adalah batubara dalam waktu tertentu. Secara matematis *drying rate* atau laju pengeringan dapat ditulis sebagai berikut:

$$Drying Rate = \frac{\Delta MC(\%)_{wb}}{\Delta t} \dots (2.3)$$

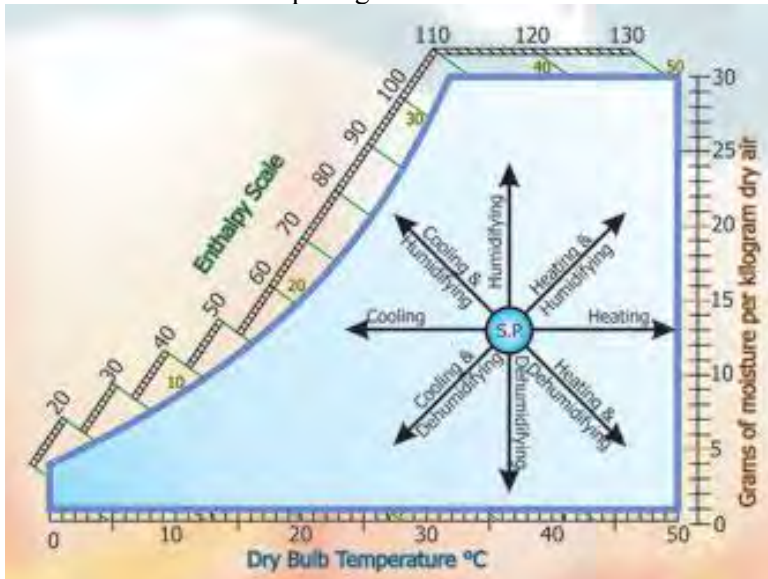
dimana :

$MC(\%)_{wb}$ = kadar air suatu bahan basis basah

t = waktu

2.1.3 Prinsip Psychometric Chart

Pada *Psychometric Chart* dikenal beberapa proses udara seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Proses pada *psychometric chart* [5]

a) *Heating*

Proses penambahan kalor sensibel ke udara sehingga temperatur udara naik. Proses ini hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara tanpa rasio kelembaban uap berubah.

b) *Cooling*

Proses pengambilan kalor sensibel dari udara sehingga temperatur udara tersebut mengalami penurunan. Proses ini hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara tanpa perubahan rasio kelembaban udara.

c) *Humidifying*

Proses penambahan kandungan uap air ke udara sehingga terjadi kenaikan entalpi dan rasio kelembaban. Pada proses ini terjadi perubahan kalor laten tanpa disertai perubahan kalor sensibel.

d) *Dehumidifying*

Proses pengurangan kandungan uap air dari udara sehingga terjadi penurunan entalpi dan rasio kelembaban. Pada proses ini terjadi perubahan kalor laten tanpa disertai perubahan kalor sensibel.

e) *Heating and Humidifying*

Udara dipanaskan disertai penambahan uap air dengan mengalirkan udara melewati ruangan semburan air atau uap yang temperaturnya lebih tinggi dari temperatur udara sehingga didapatkan peningkatan kalor sensibel dan kalor laten bersamaan. Rasio kelembaban, entalpi kelembaban relatif meningkat.

f) *Heating and Dehumidifying*

Udara mengalami pendinginan dahulu hingga temperatur di bawah titik embun udara, ada temperatur ini udara mengalami pengembunan sehingga kandungan uap air akan berkurang. Kemudian temperatur udara meningkat. Rasio kelembaban, entalpi, temperatur bola basah dan kelembaban relatif menurun sedangkan temperatur bola kering meningkat

g) *Cooling and Humidifying*

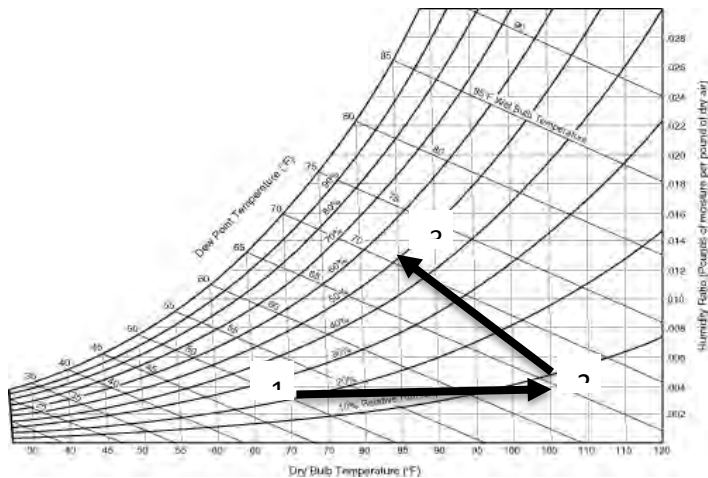
Proses ini dilakukan dengan melewati udara pada ruangan semburan air yang temperaturnya lebih rendah dari temperatur udara, tetapi lebih tinggi dari titik embun

udara sehingga temperatur akan mengalami penurunan dan rasio kelembaban akan mengalami peningkatan.

h) Cooling and Dehumidifying

Merupakan proses pendinginan dan penurunan kelembaban pada diagram psychrometric. Proses ini dilakukan dengan cara melewati udara pada koil pendingin atau ruangan semburan air dimana temperaturnya lebih rendah dari temperatur udara sehingga terjadi penurunan kalor laten dan kalor sensibel.

Dalam *psychometric chart* pada gambar 2.6 hal tersebut dapat dijelaskan bahwa pada titik 1 menuju 2 adalah proses pertama yaitu proses pemanasan. Titik 2 menuju 3 menjelaskan proses pengeringan dengan perpindahan kandungan air dari produk ke udara pemanas.



Gambar 2.6 Tahap pengeringan pada *Psychrometric Chart*

2.1.4 Konsep Perpindahan Panas dan Massa

Dalam proses pengeringan selalu terjadi perpindahan panas dan massa uap air dari bahan ke udara pengering.

Perpindahan massa dari permukaan benda ke udara pengering dalam proses pengeringan berlangsung secara konveksi. Laju perpindahan massa secara konveksi ditentukan dengan persamaan :

$$N''_A = h_m (C_{A,s} - C_{A,\infty}) \dots (2.4)$$

Persamaan diatas sama dengan :

$$n''_A = h_m (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \dots (2.5)$$

dimana :

h_m = koefisien konveksi perpindahan massa (m/s).

$C_{A,s}$ = konsentrasi uap air di permukaan bahan (kgmol/m³)

$C_{A,\infty}$ = konsentrasi uap air di medium pengering(kgmol/m³)

$\rho_{A,s}$ = rapat massa uap air di permukaan bahan (kg/m³)

$\rho_{A,\infty}$ = rapat massa uap air di medium pengering (kg/m³)

Laju perpindahan panas dan massa berlangsung secara simultan. Pada kondisi *steady*, panas yang berpindah dipergunakan untuk menguapkan air dari material menjadi uap.

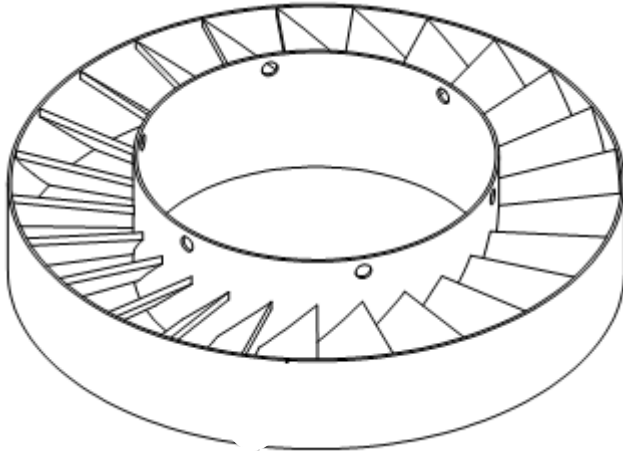
Perpindahan panas dan massa yang terjadi pada batubara dengan udara dapat dihubungkan dengan Stanton Number

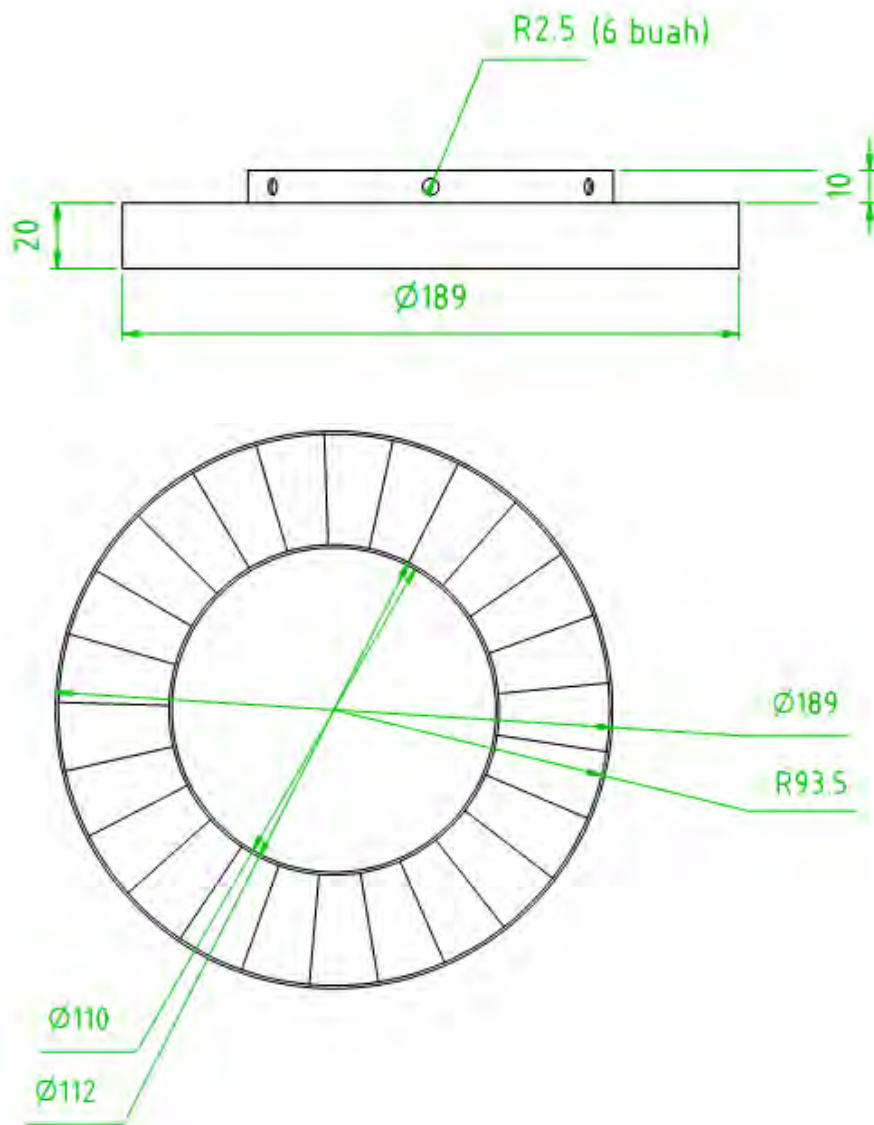
$$St \cdot Pr^{\frac{2}{3}} = St_m \cdot Sc^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{h}{\rho V c_p} Pr^{2/3} = \frac{h_m}{V} \cdot Sc^{2/3} \dots (2.6)$$

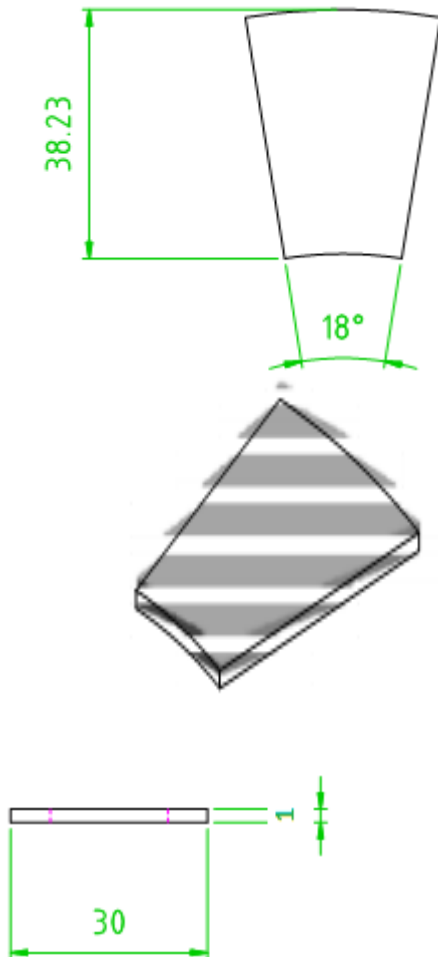
2.7 Profil Swirler Fluidized Bed

Pada *fluidized bed dryer* ada salah satu bagian alat yang digunakan sebagai pendistribusi aliran masuk udara pengering. Dalam eksperimen ini aliran masuk udara pengeringan bertipe swirl. Alat pendistribusi udara tersebut dinamakan swirler. Letak swirler berada tepat dibagian bawah *drying chamber* dan di atas swirler terdapat hamparan batubara yang akan dikeringkan. Nantinya dengan mengalirkan udara melewati swirler akan mengakibatkan profil aliran udara pengering berubah menjadi swirl. Aliran swirl diharapkan mampu meningkatkan laju pengeringan.

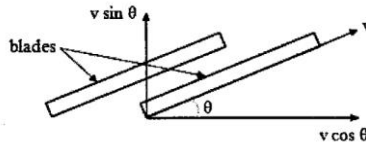




Gambar 2.7 Profil *Swirler Blade*



Gambar 2.8 Dimensi sudu *blade*



Gambar 2.9 Sudut dari *blade*

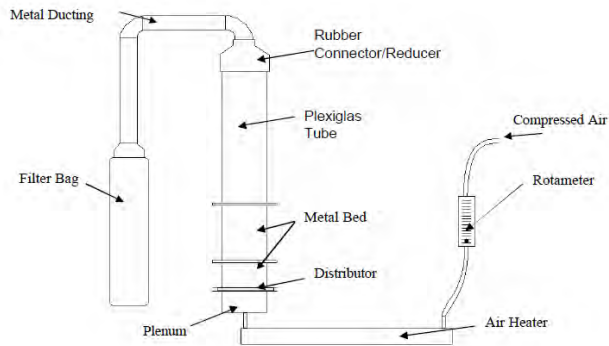
2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai teknologi pengeringan batubara telah dilakukan dan diteliti sebelumnya, antara lain :

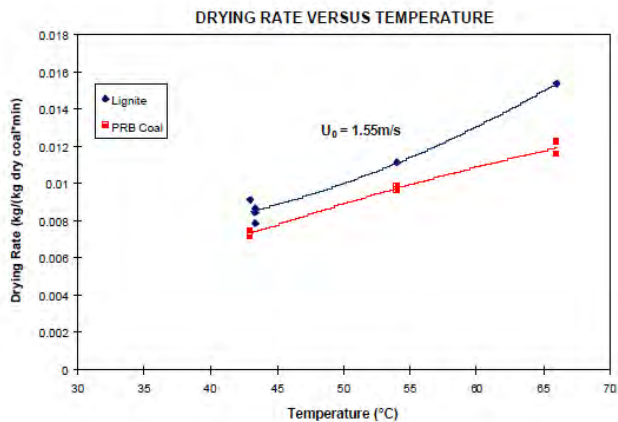
1. Edward Levy (2006)

Levy dkk, telah melakukan penelitian mengenai pengeringan batubara menggunakan *fluidized bed coal dryer* dengan judul “*Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants*”

Dalam melakukan penelitiannya Levy menggunakan alat seperti pada Gambar 2.7. Pada alat ini udara yang ditekan dilewatkan pada rotatometer dan pemanas udara, dengan kecepatan 1.6 m/s serta temperatur maksimum hingga 66⁰C



Gambar 2.10 Fluidized Bed Coal Dryer pada penelitian Levy [6]



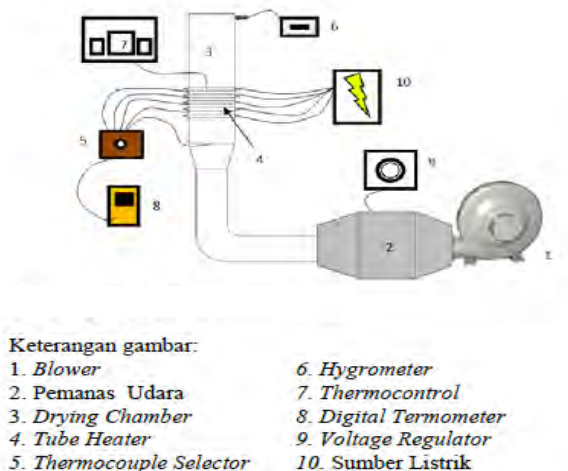
Gambar 2.11 Grafik pengaruh temperatur udara pengering pada *drying rate* untuk dua jenis batubara [6]

Berdasarkan salah satu hasil eksperimennya, Levy mendapatkan grafik mengenai hubungan antara *drying rate* dengan temperatur udara pengering. Dapat dilihat dari Gambar 2.8 bahwa semakin tinggi temperatur dari

udara pengering *drying rate* juga akan meningkat. Hal ini terjadi pada dua jenis batubara yang diteliti oleh Levy dkk.

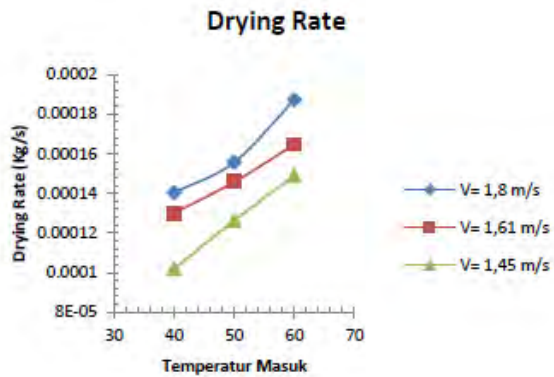
2. Anindya Ayu Pakarti (2013)

Pada penelitiannya yang berjudul “*Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned*” ia menggunakan alat pengering batubara yang dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.12 *Fluidized bed coal dryer* dengan tube heater tersusun *aligned* [3]

Pada gambar 2.10 yang didapatkan oleh Anindya pada penelitiannya dapat dilihat bahwa *drying rate* dari batubara meningkat seiring dengan bertambah tingginya temperatur udara pengering. Kemudian pada tingkat kecepatan udara pengering yang masuk, pada kecepatan 1.8 m/s *drying rate* merupakan yang terbesar diikuti dengan tingkat kecepatan yang lebih rendah.



Gambar 2.13 Grafik pengaruh temperatur udara pengering terhadap *drying rate* pada beberapa tingkat kecepatan udara. [3]

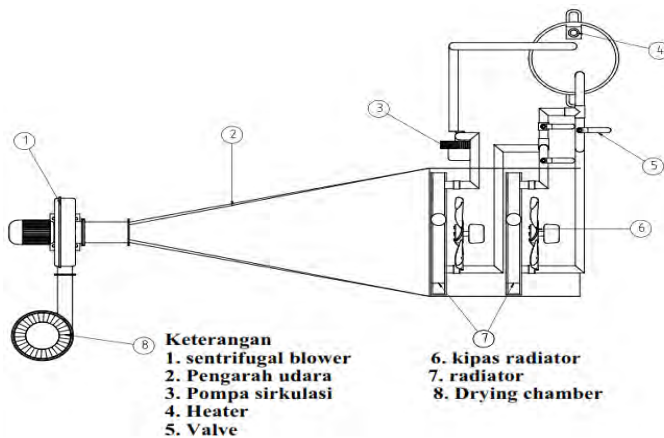
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

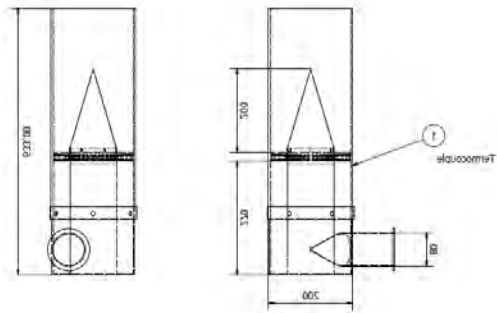
3.1 Instalasi Peralatan

Instalasi dari *swirling fluidized bed coal dryer* dapat dilihat dari ilustrasi pada Gambar 3.1. Udara pemanas dihasilkan dari perpindahan panas dari air yang dipanaskan dengan heater melalui radiator. Dengan temperatur dan kecepatan udara yang dianggap konstan ketika memasuki drying chamber.

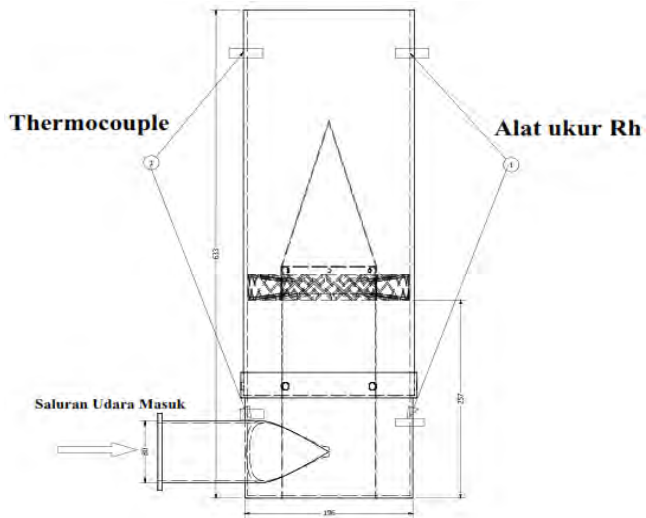


Gambar 3.1 Skema *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer*

Untuk pengambilan data temperatur dan *relative humidity* peletakan alat ukur disesuaikan seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Drying Chamber

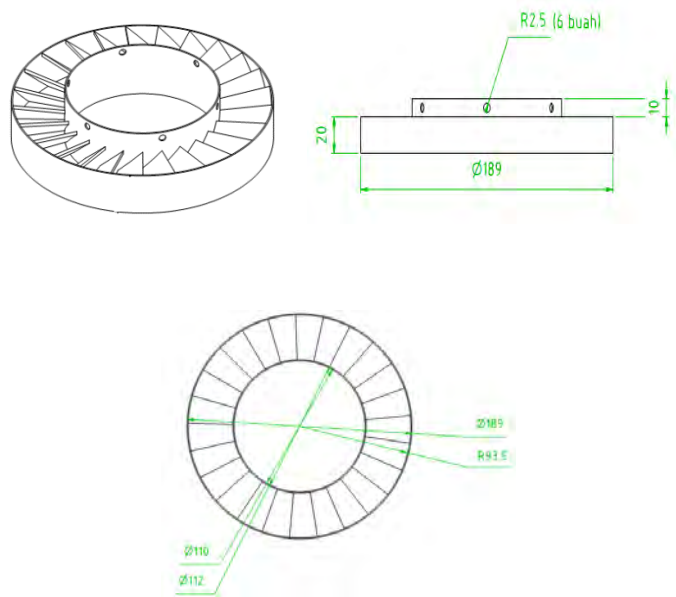


Gambar 3.3 Pemasangan Alat Ukur pada Ruang Pengeringan

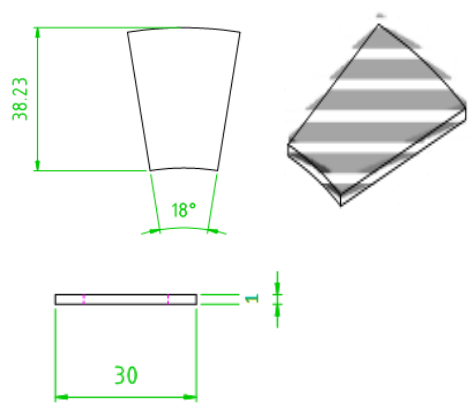


Gambar 3.4 Instalasi Alat Percobaan

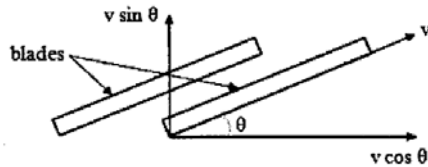
Pada *fluidized bed dryer* ada salah satu bagian alat yang digunakan sebagai pendistribusi aliran masuk udara pengering. Dalam eksperimen ini aliran masuk udara pengeringan bertipe swirl. Alat pendistribusi udara tersebut dinamakan swirler. Letak swirler berada tepat dibagian bawah *drying chamber* dan di atas swirler terdapat hamparan batubara yang akan dikeringkan. Nantinya dengan mengalirkan udara melewati swirler akan mengakibatkan profil aliran udara pengering berubah menjadi swirl. Aliran swirl diharapkan mampu meningkatkan laju pengeringan.



Gambar 3.5 Profil *Swirler Blade*



Gambar 3.6 Dimensi kepingan *blade*



Gambar 3.7 Sudut blade

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang telah ditentukan yaitu sebagai berikut :

Variabel Bebas	: Temperatur inlet udara pengering
Variabel Terkontrol	: Kecepatan inlet udara pengering, sudut blade, beban pengeringan
Variabel Terikat	: Temperatur outlet udara, <i>relative humidity</i> , laju pengeringan
Penukar panas	: 2 buah radiator diseri, dan 2 buah kipas.
Batubara	: Untuk messing batu bara dilakukan dengan ayakan yang mempunyai ukuran 5mm, batu bara di asumsikan berbentuk granular (butiran).
Dimensi chamber	:Diameter luar 200 mm, Diameter dalam 190 mm, Tinggi 650 mm
Suplay udara	:Menggunakan blower sentrifugal dengan daya 750watt Debit max 1100 m3/jam, 2500 rpm. Untuk pengaturan kecepatan digunakan voltage regulator.

3.3 Peralatan Penunjang Eksperimen

Selain peralatan utama, diperlukan beberapa peralatan penunjang dan alat ukur. Beberapa peralatan tersebut antara lain :

a. Thermocouple

Thermocouple merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur temperature pada titik yang diamati. Eksperimen kali ini menggunakan thermocouple spesifikasi tipe K, dengan range -40°C sampai 750°C . Pada eksperimen kali ini diperlukan 5 termocouple yang diletakan pada *inlet* radiator, *outlet* radiator, saluran udara pengering sebelum *blower*, *inlet drying chamber*, *outlet drying chamber*.

b. Thermocouple Selector (Thermocouple Display)

Alat ini berfungsi untuk menampilkan besarnya temperatur yang terbaca oleh thermocouple. Karena pada eksperimen ini temperature yang akan diamati terdapat di beberapa titik, maka digunakan thermocouple selector. Sehingga nilai temperatur tiap titik akan terlihat pada *display*. Thermocouple selector yang digunakan memiliki tingkat ketelitian sebesar 0.1°C . Sedangkan channel yang dapat dibaca sebanyak 17 titik pengamatan. Untuk pembacaan, thermocouple nantinya dihubungkan menuju thermocouple selector.

c. Timbangan Digital

Alat ini berfungsi untuk menimbang berat sampel batubara yang akan diteliti. Berat sampel batubara juga akan ditimbang pada tiap interval waktu tertentu pada saat eksperimen dilakukan. Berat akhir dari sampel batubara juga akan ditimbang setelah proses pengovenan selesai. Timbangan yang digunakan memiliki tingkat ketelitian 0.0001 mg.

d. Rh-meter

Alat ini berfungsi untuk mengukur nilai kelembaban relatif dari udara. Pada percobaan ini akan diukur perubahan nilai kelembaban relatif dari udara pengering sebelum dan sesudah proses pengeringan batubara.

e. Anemometer

Alat ini berfungsi untuk mengukur kecepatan udara. Pada eksperimen ini anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan udara pengering saat di *inlet drying chamber*. Kecepatan udara di-*setting* menggunakan *voltage regulator* agar besarnya sama dengan kecepatan eksperimen yang dikehendakin, yaitu kecepatan minimum fluidisasi.

f. Termocontrol

Alat ini berfungsi untuk menjaga temperatur udara pengering agar tidak melebihi batas temperatur kerja. Alat ini dihubungkan ke bagian *inlet drying chamber* agar menjaga temperature udara pengering yang masuk ke dalam *drying chamber* tetap sebesar 40°C.

g. Voltage Regulator

Setelah mendapatkan nilai kecepatan fluidisasi minimum dari perhitungan, maka kecepatan udara pengering yang masuk ke dalam inlet harus memiliki nilai yang sama dengan perhitungan tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan *voltage regulator* untuk mengatur kecepatan udara dari blower yang memasuki *drying chamber*.

h. Aquades

Air aquades merupakan fluida yang dipanaskan di dalam tangki air. Penggunaan aquades cukup diperlukan untuk menjaga pipa-pipa yang menyalurkan fluida yang sudah dipanaskan tadi agar tidak berkarat ketika eksperimen selesai dilaksanakan.

i. Tool Kit

Tool kit seperti halnya kunci inggris, obeng, tang, test pen, beserta baut sangat diperlukan untuk reparasi maupun men-*setting* peralatan yang digunakan. Selain itu hammer atau palu juga diperlukan untuk memecah batubara dari kondisi awal yang besar menjadi serpihan kecil berukuran 5 mm.

j. Ayakan Segiempat Ukuran 5 mm dan 6 mm

Penyaringan batubara agar sesuai dengan kondisi eksperimen yang diinginkan yaitu berukuran sekitar 5 mm per partikelnya dengan menggunakan ayakan. Pertama-tama batubara akan diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 6 mm kemudian setelah itu diayak kembali dengan ayakan ukuran 5 mm. Hasil akhirnya akan didapatkan ukuran partikel rata-rata batubara berkisar antara 5 mm – 6 mm.

k. Sarung Tangan Karet

Sarung tangan digunakan ketika hendak melakukan pengambilan sampel di dalam *chamber* saat pengeringan berlangsung. Ini digunakan untuk mencegah adanya moisture yang berpindah dari tangan ke batubara saat diambil dari *chamber*.

l. Safety Glasses

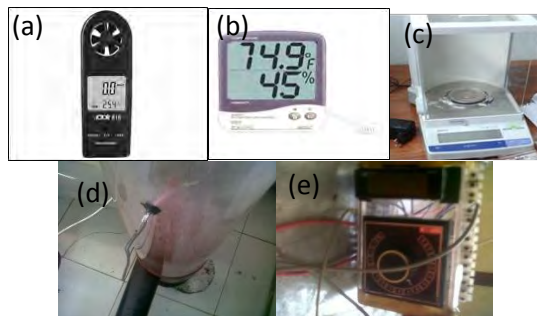
Kacamata pelindung diperlukan sebagai salah satu alat safety kepada pengambil sampel. Pada saat pengambilan ketika proses pengeringan berlangsung akan banyak debu-debu maupun serpihan kecil batubara yang berterbangan keluar. Safety glasses digunakan untuk melindungi mata pengambil sampel dari hal tersebut.

m. Cerobong Buang

Cerobong pembuangan dipasang dibagian atas *drying chamber*. Cerobong ini menghubungkan *drying chamber* dan jendela luar. Cerobong sangat diperlukan agar debu maupun serpihan kecil dari batubara tidak berterbangan keluar dan mengotori kondisi ruangan.

n. Oven

Oven digunakan sebagai alat untuk menghabiskan sisa moisture content pada batubara setelah proses pengeringan berlangsung.

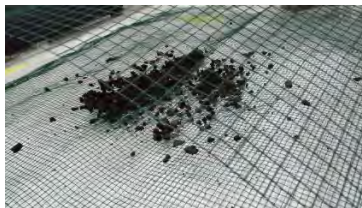


Gambar 3.8 Alat ukur. (a) Anemometer; (b) Rh-meter; (c) Timbangan digital; (d) Thermocouple; (e) Thermosteator

3.4 Metodologi Eksperimen

3.4.1 Tahap Persiapan

1. Memecah batubara menjadi serpihan-serpihan kecil dengan menggunakan *hammer*.



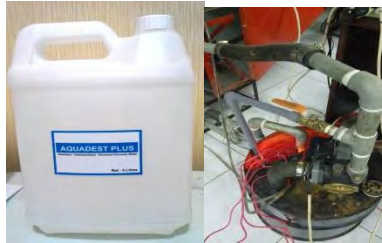
Gambar 3.9 Pengayakan batubara

2. Menimbang berat sampel batubara. Untuk satu kali variasi yang dilakukan pada eksperimen ini menggunakan beban pengeringan batubara dengan massa total 600 gr dan diameter rata-rata batubara sebesar 5 mm hingga 6 mm. Sehingga untuk 3 variasi, diperlukan total massa batubara sebesar 1800 gr.



Gambar 3.10 Penimbangan batubara

3. Menyiapkan peralatan eksperimen serta pemasangan alat ukur temperature (thermocouple). Memasang dan mengecek thermocouple pada saluran masuk dan sesaat sebelum keluar. Menyiapkan *blade* yang akan digunakan 10°. Sebelum memulai eksperimen semua peralatan baik itu peralatan penunjang dan alat utama dicek terlebih dahulu.
- o. Memasukkan aquades ke dalam *water tank* dengan bantuan selang. Setelah *water tank* terisi penuh, air aquades kemudian dipanaskan menggunakan 5 buah *heater* elektrik spiral dengan daya total sebesar 2900 watt. Proses pertukaran panas terjadi antara *water heater* dengan aquades. Temperatur air panas yang diinginkan sebesar 90°C. Temperature udara pengeringan 50°C menggunakan Termocontrol



Gambar 3.11 Aquades dan *water tank*

4. Mensirkulasikan aquades panas dari *water tank* menuju radiator menggunakan pompa air. Sistem pemanas udara untuk pengeringan batubara pada eksperimen ini menggunakan *heat exchanger* (2 buah radiator yang disusun seri). *Fan* yang terletak sebelum radiator dibiarkan tetap menyala selama proses eksperimen. Selain itu pompa juga dibiarkan terus menyala. Dengan sirkulasi tersebut maka akan terjadi pertukaran panas antara udara sekitar yang dialirkan dan aquades yang telah dipanaskan. Setelah temperature kerja tercapai, thermocontrol akan dengan sendirinya menjaga temperature agar tidak melebihi batas.



Gambar 3.12 Radiator

5. Menghitung kecepatan fluidisasi minimum dengan menggunakan persamaan (2.12) dengan memasukkan variabel-variabel yang tertera pada persamaan tersebut.
8. Memasang *blade* dengan sudut 10° pada drying chamber. Pemasangan dilakukan dengan melepas terlebih dahulu

cover dari *drying chamber*. Setelah cover *drying chamber* dilepas, *blade* dimasukkan dengan *cone* sebagai pusatnya seperti terlihat gambar. *Blade* kemudian direkatkan pada *cone* dengan menggunakan baut agar posisi *blade* tetap fixed saat blower menyala. Variasi pada eksperimen ini temperature udara pengeringan 40°C dan 45°C



Gambar 3.13 *Drying chamber* sebelum dan sesudah dipasang *blade*

9. Setelah mendapatkan nilai kecepatan fluidisasi minimum. Blower dinyalakan, kemudian mengatur kecepatan udara dengan menggunakan bantuan *voltage regulator*. *Voltage regulator* di-setting pada besaran voltage dimana kecepatan fluidisasi minimum dari aliran *blower* tercapai. Perhitungan kecepatan udara yang diinginkan dengan menggunakan anemometer. Anemometer diletakkan di bagian *inlet drying chamber* (sebelum melewati *blade distributor*). Setelah pengaturan kecepatan selesai, tutup kembali *drying chamber* dengan cover kemudian menunggu selama ± 30 menit untuk mencapai kondisi aliran blower yang *steady*.



Gamvar 3.14 Voltage regulator dan peletakkan anemometer

3.4.2 Tahap Pengamatan

1. Mencatat T_{in} , Rh_{in} , T_{out} , dan Rh_{out} kondisi awal. Kondisi awal adalah kondisi dimana batubara belum dimasukkan ke dalam *drying chamber*. Pada kondisi ini blower, radiator beserta fan dan pompa sudah dalam kondisi menyala. Kondisi temperature serta *relative humidity* dari ruangan sekitar juga dicatat.



Gambar 3.15 Alat pengukur RH dan temperatur

2. Memasukkan sampel batubara yang sebelumnya sudah ditimbang pada tahap persiapan ke dalam *drying chamber* dan proses pengeringan berlangsung. Proses memasukkan sampel dilakukan pada kondisi blower sudah dijalankan. Proses ini dilakukan dengan memasukkan sampel keseluruhan sekaligus bukan memasukan secara perlahan atau sedikit demi sedikit.



Gambar 3.16 Memasukkan sampel

3. Setelah itu proses pengeringan telah berlangsung. Timer stop watch dinyalakan untuk menghitung waktu tiap pengambilan sampelnya. Melakukan pengambilan sampel batubara setiap 1 menit untuk 5 menit pertama, setelah itu setiap 2 menit sebanyak 3 kali, dan kemudian setiap 5 menit sebanyak 4 kali sehingga total waktu pengeringan berlangsung selama 31 menit. Pengambilan sampel batubara diusahakan pada posisi yang sama dalam *drying chamber* dan cukup sampel ukuran kecil saja agar tidak merubah beban pengeringan. Pengambilan sampel dilakukan dengan memasukkan tangan ke dalam lubang yang ada dicerobong dan mengambil butiran yang terbang di bagian atas chamber. Sampel yang terbang dibagian atas chamber telah lebih kering dibandingkan yang masih berada dibagian bawah. Setiap sampel yang diambil kemudian ditimbang. Selain itu mencatat kondisi T_{DB} dan $R_{h_{out}}$ disaat tiap waktu pengambilan sampel. Tiap sampel dimasukkan dalam plastik klip agar tidak terkontaminasi udara ruangan sekitar. Orang yang mengambil sampel menggunakan sarung tangan karet agar tidak terkontaminasi moisture dari tangan. Selain itu juga menggunakan kaca mata pelindung sebagai *safety* agar mata tidak terkena debu dari batubara yang terbang keluar.



Gambar 3.17 Sebelum dan sesudah pengambilan sampel

4. Mengulang dari poin nomor 2 hingga nomor 5 untuk temperature udara pengeringan 40°C dan 45°C
5. Setelah pengambilan sampel, memasukkan batu bara dalam oven selama 3 jam menurut standard ASTM guna menghabiskan sisa *moisture content*. Setiap sampel batubara yang telah diambil selama proses pengeringan dimasukkan ke dalam oven. Semua sampel dimasukkan ke dalam oven pada posisi terpisah agar sampel tidak tercampur satu dengan yang lainnya.



Gambar 3.18 Proses pengovenan

6. Setelah pengovenan selesai, masukkan kembali tiap sampel batubara pada plastik klip seperti semua. Ini agar menjaga tidak ada moisture dari luar yang meresap ke dalam batubara. Setelah itu menimbang kembali berat tiap sampel setelah proses oven selesai. Data yang didapat berupa berat kering dari batubara.



Gambar 3.19 Penimbangan berat kering batubara

3.4.3 Tahap Analisa Data *Experimen*

Data pengamatan *eksperimen* yang diperoleh diolah untuk mendapatkan nilai-nilai parameter pengeringan yang penting seperti *moisture content* dari batu bara, *drying rate*, dan karakteristik udara pengering dalam *psychrometric chart*.

3.5 Lembar Pengambilan Data

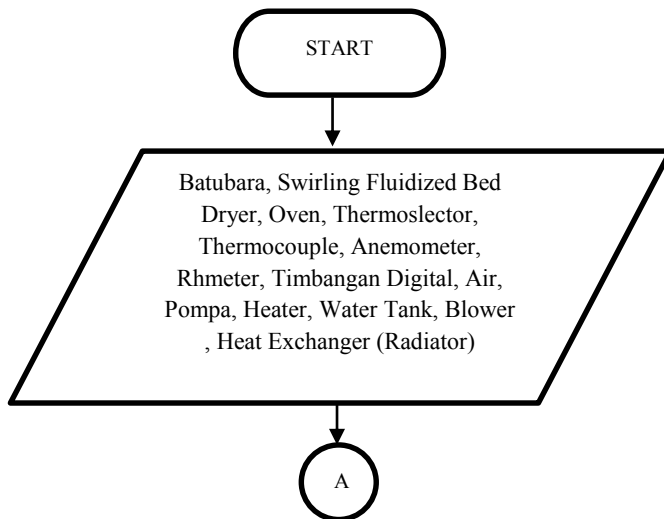
Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan sesuai dengan waktu dan temperatur inlet udara pengering yang telah ditentukan yaitu 40, 45, dan 50 derajat celcius contoh tabel data dapat dilihat pada Tabel 3.1

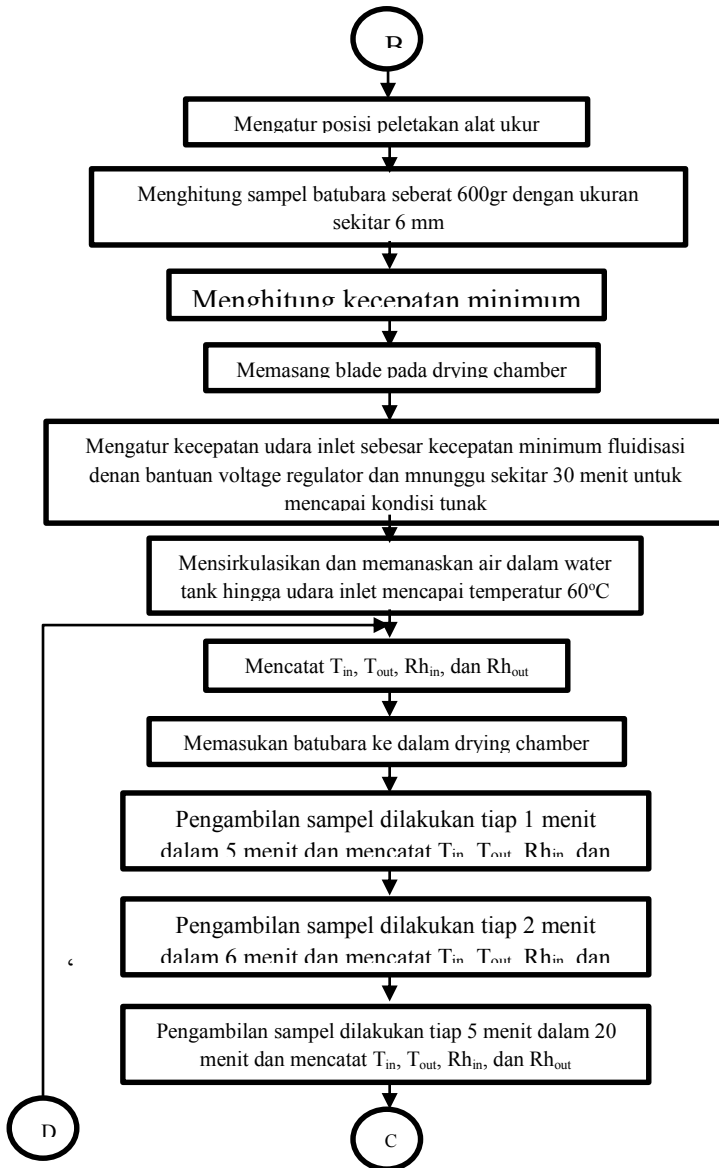
Tabel 3.1 Lembar Pengambilan Data

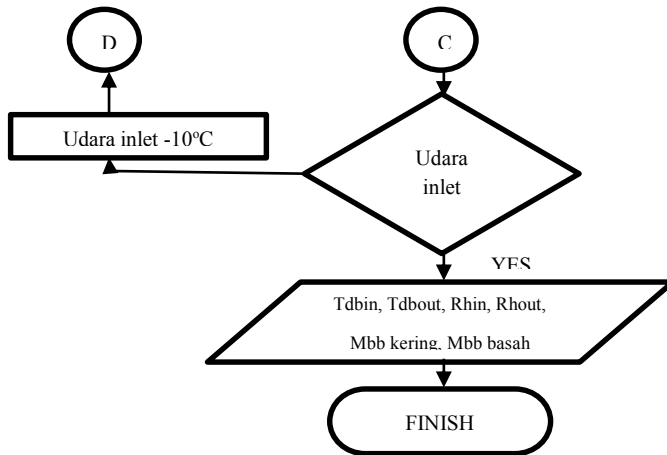
Temp. Inlet Udara Pengering (°K)	Waktu (menit)	Temp. Inlet (°K)	Rh Inlet (%)	Temp. Outlet (°K)	Rh Outlet (%)	Massa bb. Basah (gr)	Massa bb. Kering (gr)
50	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	7						
	9						
	11						
	16						
	21						
	26						
	31						

3.6 Diagram Alir Pengambilan Data

Berikut ini merupakan diagram alir pada pengujian karakteristik *swirling fluidized bed coal dryer* :



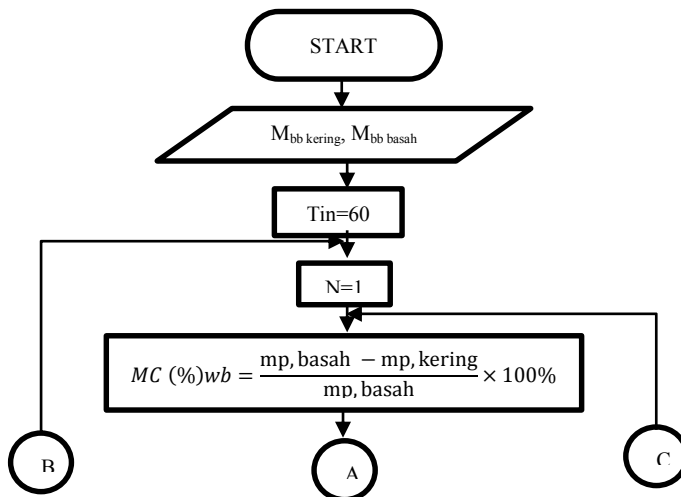


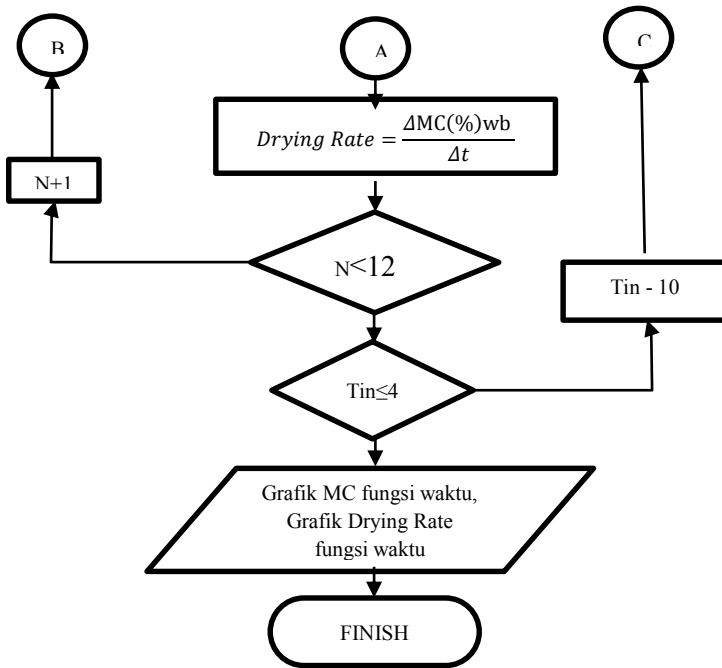


3.7 Diagram Alir Pengolahan Data

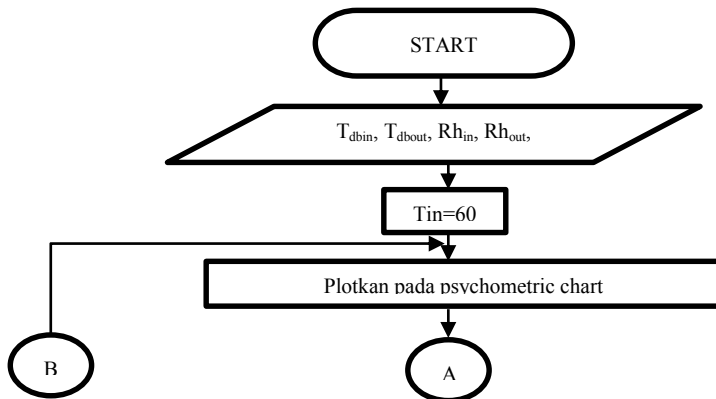
Berikut ini merupakan diagram alir pada pengolahan data pada eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer* :

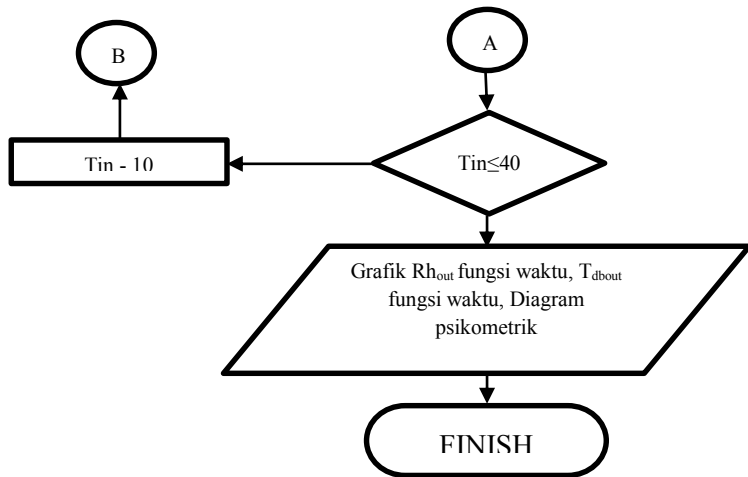
1. Diagram Alir Pengolahan Data dari Batubara





2. Diagram Alir Pengolahan Data dari Udara





(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Data didapatkan setelah melakukan pengeringan batubara dengan menggunakan *swirling fluidized bed dryer*. Dengan variasi temperatur pengeringan 40°C, 45 °C, dan 50 °C dengan sudut blade 10 ° dan beban pengeringan 600 gram. Data ini dapat dilihat pada lampiran.

4.2 Analisa dan Perhitungan

4.2.1 Perhitungan Kecepatan Fluidisasi Minimum

Untuk menghitung kecepatan fluidisasi minimum menggunakan persamaan 2.1. Data yang diperlukan untuk menghitung kecepatan fluidisasi sebagai berikut :

- Masa jenis batubara = 850 kg/m³
- Volume batubara

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$V = \frac{4}{3}\pi 3 \times 10^{-3} = 1.1304 \times 10^{-7}$$
- Koefisien drag dari batubara = 0.47
- Masa jenis udara = 1.17 kg/m³
- Luas permukaan batubara

$$A = 4\pi r^2$$

$$A = 4\pi 3 \times 10^{-2} = 2.826 \times 10^{-5}$$
- Sin θ = 10° (sudut blade)

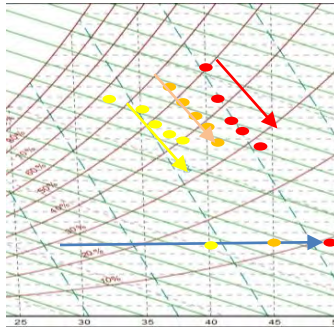
$$v = \sqrt{\frac{2 \rho_{batubara} \cdot V \cdot g - V \cdot \rho_{udara} \cdot g}{C_D \cdot \rho_{udara} \cdot A \cdot \sin \theta}}$$

$$v = \sqrt{\frac{(2 \times 850 \times 1.1304 \times 10^{-7} \times 9.8) - (1.1304 \times 10^{-7} \cdot 1.17)}{0.47 \times 1.17 \times 2.826 \times 10^{-5} \times \sin 10}}$$

$$v = 1.91 \approx 2 \text{ m/s}$$

4.2.2 Analisa Udara

4.2.2.1 Analisa Diagram Psikometrik



Keterangan:

● T=50°C

● T=45°C

● T=40°C

Gambar 4.1 Data penelitian dalam diagram psikometrik

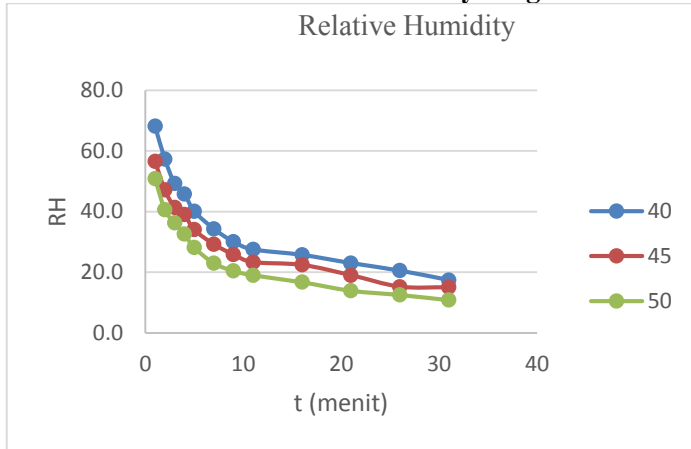
Untuk mengetahui campuran antara uap air pada udara pengering dapat dilihat pada diagram psikrometrik, dari diagram psikrometrik ini dapat diketahui beberapa parameter yang terkait dengan udara pengering seperti *humidity ratio*. Untuk mengetahui karakteristik dari udara selama proses pengeringan maka data hasil penelitian dari sisi udara yaitu temperatur outlet pengeringan dan *relative humidity* di plotkan kedalam diagram psikrometrik pada gambar 4.1.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa variasi temperatur udara pengering 50°C memiliki nilai *humidity ratio* tertinggi pada setiap menit, kemudian diikuti oleh 45°C dan 40°C. Tiap titik mewakili waktu pengeringan setiap satu menit yang dimulai dari titik teratas pada semua variasi.

Dalam diagram psikrometrik ini terjadi proses *heating* dan *dehumidifying*. Proses *heating* dan *dehumidifying* terjadi pada saat pengeringan, dimana semakin lama waktu pengeringan maka temperatur udara pengering akan meningkat dan nilai *humidity ratio* akan menurun, hal ini berarti bahwa semakin lama waktu pengeringan maka kandungan uap air yang ada didalam udara akan

semakin menurun. Uap air pada udara menunjukkan banyaknya uap air yang diterima oleh udara dari batubara.

4.2.2.2 Analisa Grafik Relative Humidity fungsi Waktu



Gambar 4.2 Pengaruh temperatur udara pengering terhadap *relative humidity*

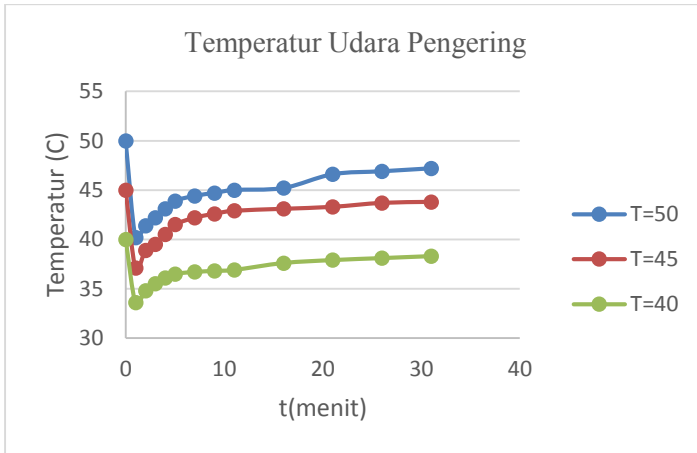
Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh dari temperatur pengeringan terhadap *relative humidity* dari udara. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa ketiga tren grafik mengalami penurunan. *Relative humidity* sendiri mengalami penurunan akibat dari meningkatnya temperatur dari udara, hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 mengenai temperatur outlet pengeringan.

Pada lima menit pertama terjadi penurunan *relative humidity* yang tercepat, hal ini dikarenakan kandungan uap air pada batubara masih cukup banyak. Pada temperatur 50°C *relative humidity* turun hingga mencapai 28.1, kemudian pada temperatur 45°C *relative humidity* turun hingga mencapai 34, dan pada temeratur 40°C *relative humidity* turun hingga 36.4. Pada waktu pengeringan selanjutnya ketiga variasi temperatur tidak mengalami penurunan *relative humidity* yang drastis. Hingga pada 31 menit pengeringan ketiga variasi memiliki sisa *relative humidity* yang 10.8, 15, 18.9 yaitu 50°C, 45°C, dan 40°C secara berurutan.

Relative humidity yang lebih rendah menghasilkan laju pengeringan yang cepat maka temperatur udara pengering 50 °C menghasilkan pengeringan yang paling cepat dibandingkan dengan variasi yang lebih rendah.

4.2.2.3 Analisa Grafik Tout Udara fungsi Waktu

Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh dari temperatur pengering terhadap temperatur outlet dari udara pengering. Pada grafik diatas dapat dilihat ketiga variasi mengalami penurunan pada menit pertama, kemudian mengalami peningkatan.



Gambar 4.3 Pengaruh temperatur udara pengering terhadap temperatur outlet pengering

Pada menit pertama terjadi penurunan temperatur outlet yang tercepat, hal ini dikarenakan kandungan uap air pada batubara masih cukup banyak. Pada temperatur 50°C temperatur outlet turun hingga mencapai 40.2°C, kemudian pada temperatur 45°C temperatur outlet turun hingga mencapai 37.1°C, dan pada temperatur 40°C temperatur outlet turun hingga 33.6°C. Pada waktu pengeringan selanjutnya ketiga variasi temperatur tidak mengalami peningkatan temperatur outlet. Hingga pada 31 menit pengeringan ketiga variasi memiliki sisa temperatur outlet yang hampir sama

47.2°C, 43.8°C, 38.3°C yaitu 50°C, 45°C, dan 40°C secara berurutan. Temperatur inlet pengeringan yang lebih besar akan menghasilkan temperatur outlet pengeringan yang besar. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa temperatur pengeringan tertinggi yaitu 50°C memiliki temperatur outlet tertinggi

4.2.2.4 Perhitungan uap air pada udara

Uap air pada udara dapat dihitung dengan mengurangi massa uap air yang keluar pada outlet dengan massa uap air pada inlet. Dimana massa uap air adalah massa udara dikalikan dengan ω . ω didapatkan dengan menggunakan temperatur dan *relative humidity* yang telah dicatat pada saat melakukan penelitian. Contoh data yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan ini dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 RH dan Temperatur pada dua menit pertama

t (menit)	Rhout	Tout (C)	ω
1	68.1	33.7	20.893
2	57.3	35.2	19.828

Massa udara adalah massa dari udara yang dialirkan ke *drying chamber* pada tiap menitnya, yaitu masa alir dikalikan waktu. Masa jenis dari udara untuk bervariasi antara 40°C hingga 50°C, namun perbedaan ini sangat kecil sehingga perbedaannya diabaikan.

$$\text{massa alir} = A \times v \times \rho_{\text{udara}}$$

$$\text{massa alir} = 0.0159 \times 2 \times 1.10 = 0.0351 \text{ kg/s}$$

Sehingga massa udara yang dihitung adalah sebagai berikut.

$$\text{massa udara} = \text{massa alir} \times t$$

$$\text{massa udara} = 0.0351 \times 60 = 2.1063 \text{ kg}$$

Dari massa udara tersebut kita dapat menghitung massa dari uap air yang terkandung dalam udara setelah melewati batubara yaitu:

$$\text{Massa uap air} = \text{massa udara} \times \omega$$

50

Massa uap air (1) = $2.1063 \times 20.893 = 44$ gram

Sedangkan untuk massa uap air dari inlet didapatkan dengan menggunakan RH dan Temperatur inlet dari udara yaitu sebesar 14.53 gram

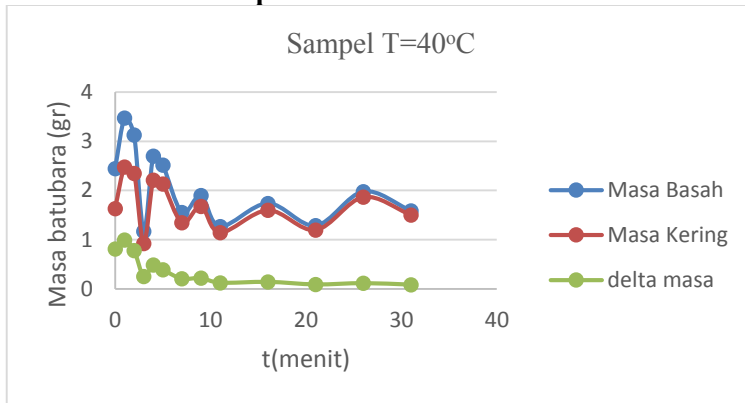
Maka uap air yang diterima udara dari batubara pada menit pertama yaitu

Massa uap air yang diterima = $44 - 14.53 = 29.47$ gram

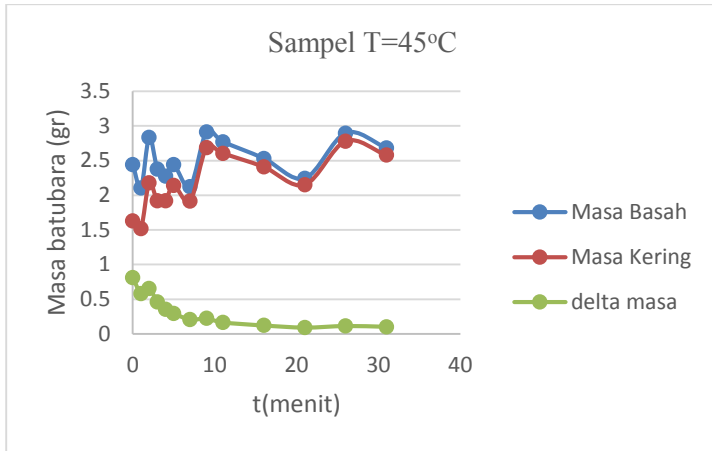
Hasil dari perhitungan ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan uap air dari batubara dan ditampilkan pada grafik yaitu pada Gambar 4.5

4.2.3 Analisa Batubara

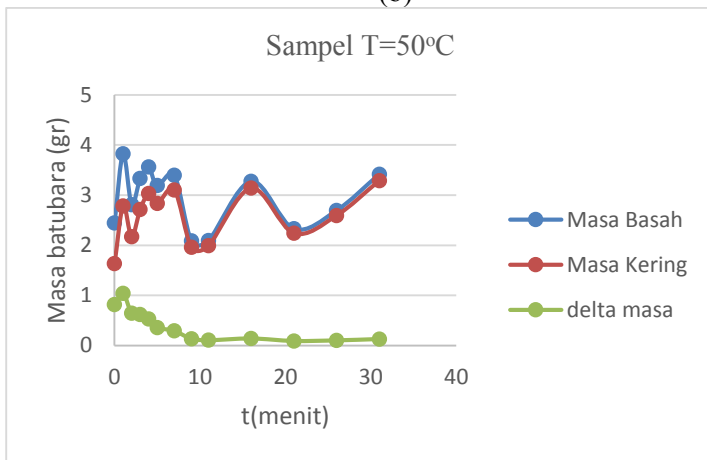
4.2.3.1 Analisa sampel batubara



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Masa sampel batubara pada tiap variasi temperatur udara pengering (a) 40°C (b) 45°C (c) 50°C

Gambar 4.4 menunjukkan masa dari sampel batubara yang diambil pada proses pengeringan untuk setiap variasi temperatur udara pengering. Grafik dari tiap sampel mengalami kenaikan dan penurunan yang fluktuatif.

Masa basah adalah masa dari sampel batubara yang ditimbang setelah proses pengeringan, sedangkan masa kering adalah masa dari sampel batubara yang ditimbang setelah dikeringkan menggunakan oven. Pada grafik masa basah terjadi kenaikan dan penurunan yang acak karena pengambilan sampel dilakukan secara acak, sehingga terdapat perbedaan jumlah sampel yang diambil. Masa kering tentunya akan mengikuti tren dari grafik masa basah dengan deviasi masa yang berupa delta.

4.2.3.2 Perhitungan uap air dari Batubara

Data dari penelitian yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan pengaruh dari pengeringan pada batubara adalah berat basah dan berat kering dari batubara. Data yang diambil untuk contoh perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.2. Data ini digunakan untuk menghitung *Moisture Content* dan *Drying Rate* pada batubara pada tiap waktunya.

Tabel 4.2 Data massa kering dan massa basah dari batubara pada dua menit pertama

Waktu (menit)	Massa Basah (g)	Massa Kering (g)
1	3.4733	2.4111
2	3.127	2.2688

Untuk menghitung *Moisture Content* dari batubara dapat dilakukan dengan persamaan 2.2, contoh perhitungannya sebagai berikut.

$$MC (\%)_{wb} = \frac{mp, \text{basah} - mp, \text{kering}}{mp, \text{basah}} \times 100\%$$

$$MC (\%)_1 = \frac{3.4733 - 2.4111}{3.4733} \times 100\%$$

$$MC (\%)_1 = 30.58\%$$

$$MC (\%)_2 = \frac{3.127 - 2.2688}{3.127} \times 100\%$$

$$MC (\%)_2 = 27.45\%$$

Untuk Menghitung *Drying Rate* dari batubara dapat dilakukan dengan persamaan 2.3, contoh perhitungannya sebagai berikut.

$$\text{Drying Rate} = \frac{\Delta \text{MC}(\%) \text{wb}}{\Delta t}$$

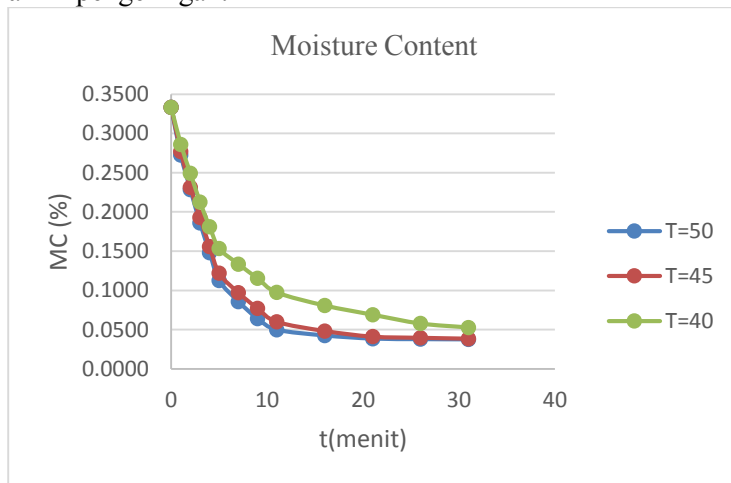
$$\text{Drying Rate} = \frac{\text{MC}(\%)_1 - \text{MC}(\%)_2}{\Delta t}$$

$$\text{Drying Rate} = \frac{30.58 - 27.45}{2 - 1} = 0.0272$$

Hasil dari perhitungan ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan uap air di udara dan ditampilkan pada grafik yaitu pada Gambar 4.8

4.2.3.3 Analisa Moisture Content Fungsi Waktu

Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh dari temperatur pengeringan terhadap *moisture content* dari batubara. Pada grafik diatas dapat dilihat ketiga variasi mengalami penurunan hingga akhir pengeringan.



Gambar 4.5 Pengaruh Temperatur Pengeringan terhadap *moisture content*

Pada lima menit pertama terjadi penurunan *moisture content* yang tercepat, hal ini dikarenakan kandungan uap air pada batubara masih cukup banyak. Pada temperatur 50°C *moisture content* turun hingga mencapai 0.1123, kemudian pada temperatur

45°C *moisture content* turun hingga mencapai 0.1217, dan pada temperatur 40°C *moisture content* turun hingga 0.1533. Pada waktu pengeringan selanjutnya ketiga variasi temperatur tidak mengalami penurunan *moisture content* yang cepat. Hingga pada 31 menit pengeringan ketiga variasi memiliki sisa *moisture content* yang hampir sama 0.0374, 0.0384, 0,0526 pada 50°C, 45°C, dan 40°C secara berurutan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa temperatur pengeringan tertinggi yaitu 50°C memiliki waktu pengeringan tercepat. Hal tersebut dapat terjadi karena kenaikan temperatur pada udara pengering meningkatkan koefisien perpindahan masa yang terjadi pada proses pengeringan. Koefisien perpindahan masa untuk tiap variasi temperatur akan dijelaskan pada Gambar 4.9

4.2.3.4 Perhitungan *drying rate*

Data yang digunakan untuk menghitung *drying rate* dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Data Moisture content pada tiap variasi temperatur pengering

t(menit)	Moisture Content		
	40°C	45°C	40°C
0	0.3330	0.3330	0.3330
1	0.2860	0.2767	0.2723
2	0.2492	0.2311	0.2282
3	0.2125	0.1930	0.1858
4	0.1809	0.1556	0.1480
5	0.1533	0.1217	0.1123
7	0.1335	0.0970	0.0857
9	0.1152	0.0769	0.0638
11	0.0972	0.0599	0.0498
16	0.0806	0.0482	0.0424
21	0.0689	0.0410	0.0384
26	0.0576	0.0395	0.0377
31	0.0526	0.0384	0.0374

Untuk menghitung *drying rate* yang terjadi pada tiap menitnya digunakan persamaan berikut:

$$\text{Drying Rate} = \frac{\Delta \text{MC}(\%)_{wb}}{\Delta t}$$

Maka,

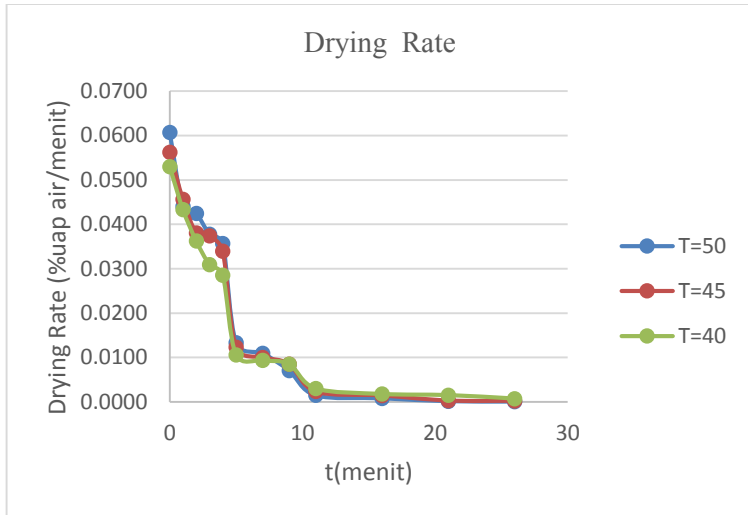
$$\text{Drying Rate} = \frac{0.333 - 0.286}{1 - 0} = 0.0471\% \text{ uap air/menit}$$

Kemudian untuk menghitung rata-rata *drying rate* menggunakan persamaan berikut:

$$\text{avg. drying rate} = \frac{\Sigma \text{Drying Rate}}{\Sigma \text{Sample}}$$

4.2.3.5 Analisa Drying Rate

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh dari temperatur udara pengering terhadap *drying rate* fungsi waktu. Pada grafik diatas dapat dilihat ketiga variasi temperatur memiliki tren grafik menurun.

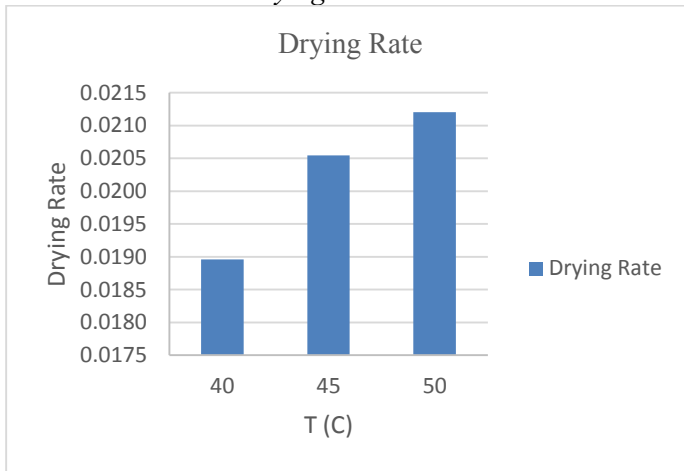


Gambar 4.6 Pengaruh temperatur pengering pada *drying rate* fungsi waktu

Pada grafik dapat dilihat bahwa pada menit pertama proses pengeringan, variasi temperatur pengeringan 50°C memiliki *drying rate* tertinggi yaitu , kemudian diikuti oleh temperatur pengeringan 45°C sebesar , dan *drying rate* terendah dimiliki oleh temperatur pengeringan 40°C sebesar . *Drying rate* tertinggi dimiliki oleh temperatur pengering 50°C hingga sembilan menit pengeringan,

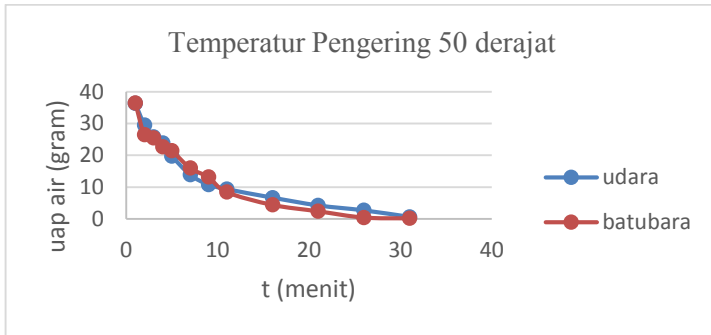
hingga kemudian ia memiliki *drying rate* terendah. Hal ini terjadi karena dengan *drying rate* yang sangat besar pada awal pengeringan, maka *moisture* dari batubara yang tersisa di dalam lebih sedikit dibandingkan yang lain sehingga, *drying rate* akan menurun di sisa waktu pengeringan.

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh dari temperatur udara pengering terhadap rata-rata dari *drying rate*. Pada grafik dapat dilihat bahwa *drying rate* meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Grafik ini menunjukkan bahwa temperatur pengering 50oC memiliki rata-rata *drying rate* terbesar.

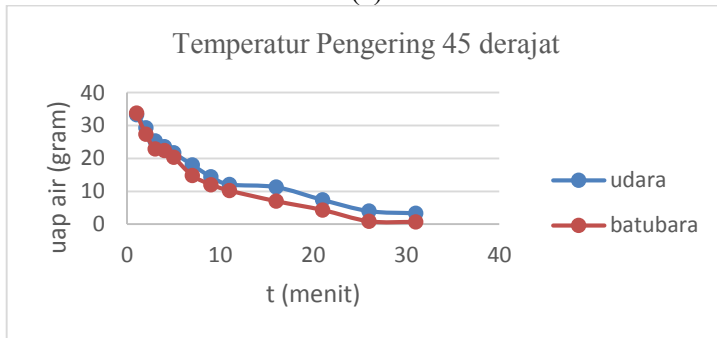


Gambar 4.7 Pengaruh temperatur udara pengering terhadap rata-rata *drying rate*

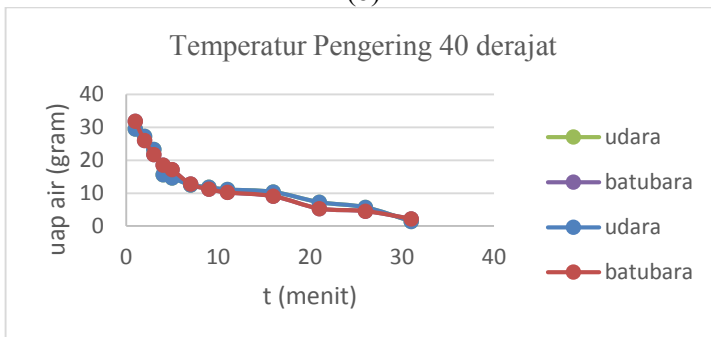
4.2.4 Analisa Grafik Perpindahan Masa



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Perbandingan uap air yang dilepas batubara dengan kandungan uap air di udara untuk temperatur pengeringan (a) 50°C (b) 45°C (c) 40°C

Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan dari massa uap air yang dilepas oleh batubara dengan kandungan uap air yang diterima oleh udara pengering pada saat proses pengeringan. Pada ketiga variasi temperatur udara pengering tren grafik mengalami penurunan. Penurunan grafik juga disertai dengan grafik udara dan batubara yang berhimpit pada setiap variasi.

Temperatur pengeringan 50°C dapat melepaskan uap air dari batubara terbesar pada pengeringan. Hal ini dapat terlihat jelas pada Gambar 4.4 di menit pertama. Selain itu temperatur pengeringan 40°C melepaskan uap air dari batubara terkecil pada pengeringan. Lebih besarnya uap air yang dilepas dengan temperatur lebih tinggi dapat dijelaskan dari *relative humidity* pada Gambar 4.2 dan koefisien perpindahan masa pada Gambar 4.5 yaitu semakin besar temperatur maka koefisien perpindahan masa akan semakin besar

4.2.5 Perhitungan Koefisien Perpindahan Masa

Contoh perhitungan diambil pada temperatur udara pengering 40°C kecepatan 2 m/s, ukuran partikel 6 mm, sudut *blade* 10° dan beban 600 gram pada waktu $t = 1$ menit . Berikut perhitungan yang dilakukan:

a. Menghitung Schmidt Number (Sc)

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

$$Sc = \frac{17,198 \times 10^{-6}}{24,424 \times 10^{-6}}$$

$$Sc = 0,704$$

b. Menghitung Sherwood Number (sh)

$$Sh = 2 + 0,6 \times Re_D^{\frac{1}{2}} \cdot Sc^{\frac{1}{3}}$$

$$Sh = 0.037 \times 1063,54^{\frac{1}{2}} \times 0.704^{\frac{1}{3}}$$

$$Sh = 16.32$$

c. Nilai Koefisien Perpindahan Massa Konveksi (h_m)

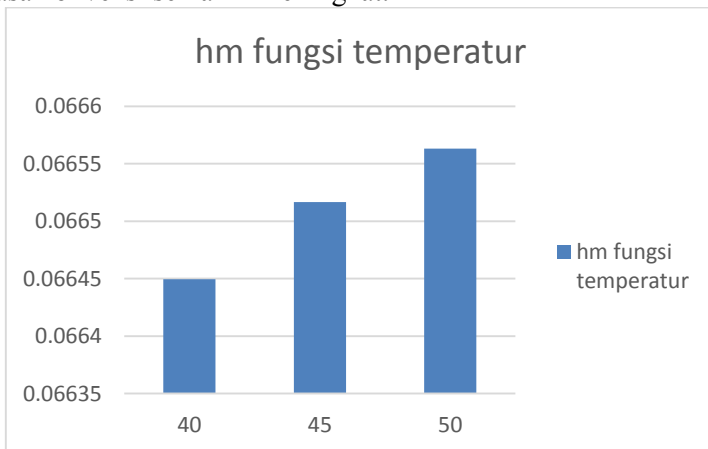
$$h_m = Sh \cdot \left(\frac{D_{AB}}{D} \right)$$

$$h_m = 16.32 \cdot \left(\frac{24,424 \times 10^{-6}}{0,006} \right)$$

$$h_m = 0,06645$$

4.2.6 Pengaruh temperatur udara pengering terhadap koefisien perpindahan masa

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh temperatur udara pengering terhadap koefisien perpindahan masa. Temperatur mempengaruhi langsung terhadap *reynolds number* (Re) dan *schmidt number* semakin tinggi *reynolds number* dan *schmidt number* (Sc) maka nilai *sherwood number* (Sh). semakin tinggi Nilai *sherwood number* semakin naik maka koefisien perpindahan masa konveksi semakin meningkat.



Gambar 4.9 Pengaruh temperatur udara terhadap koefisien perpindahan masa

Nilai koefisien perpindahan massa temperatur 40°C sebesar 0,06644 , temperatur 45°C 2,5 m/s sebesar 0,06651 m/s, dan temperatur 50°C sebesar 0,06656. Grafik tersebut menunjukkan bahwa temperatur udara pengering menghasilkan koefisien perpindahan massa yang terbesar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer* dan analisa dari grafik hasil eksperimen, dapat diambil beberapa kesimpulan. Kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

1. Temperatur udara pengering 50°C memiliki temperatur outlet pengeringan yang tertinggi dan relative humidity terendah diikuti oleh temperatur udara pengering 45°C dan 40°C
2. Dengan *moisture content* batubara awal sebesar 0.3303, temperatur udara pengering 50°C, 45°C, dan 40°C dapat mengurangi moisture content batubara secara berturut-turut sebesar 0.374, 0.493, dan 0.526
3. Temperatur udara pengering 50°C memiliki rata-rata *drying rate* terbesar yaitu 0.0212 %uap air/menit, diikuti oleh temperatur udara pengering 45°C, kemudian 40°C
4. Temperatur udara pengering 50°C memiliki koefisien perpindahan massa sebesar 0,06644 m/s, koefisien perpindahan massa pada temperatur udara pengering 45°C sebesar 0,06651 m/s dan koefisien perpindahan massa pada temperatur udara pengering 40°C sebesar 0,06656 m/s.
5. Temperatur pengeringan 50 °C merupakan temperatur pengering terbaik dibandingkan dengan variasi temperatur lebih rendah.

5.2 Saran

Setelah dilakukan eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer*, dapat disampaikan beberapa saran untuk meningkatkan performa yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya. Saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Memastikan kondisi alat ukur pada kondisi baik, melakukan kalibrasi apabila diperlukan agar dapat memperoleh data yang tepat.
2. Melakukan perawatan terhadap alat eksperimen untuk menjaga *reliability* dari alat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara* .2006. Jakarta, Indonesia
- [2]. *<http://scialert.net>* 14 Maret 2015
- [3]. Pakarti, Anindya Ayu., ***Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned.*** 2013. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia.
- [4]. *<http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/drying5.htm>* 14 Maret 2015
- [5]. *<http://www.acr-news.com/masterclass-psychometrics-part-28>* 14 Maret 2015
- [6]. Edward K, Levy., Sarunac, Nenad., Bilirgen, Harun., Caram, Hugo., ***Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants Final Report.*** 2011. Energy Research Center Lehigh University. Betlehem.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Tabel L.1 Data Eksperimen temperatur pengering 50°C

Sampel	t (menit)	Rhin	Tin (C)	Rhout	Thout (C)	mb (g)	mk (g)	m.uap air di bb (g)	MC
1	0	15	50	9	50	2.4442	1.6302	0.8140	0.3330
2	1	15	50	50.8	40.2	3.823	2.782	1.0410	0.2723
3	2	15	50	40.6	41.4	2.8104	2.169	0.6414	0.2282
4	3	15	50	36.3	42.2	3.332	2.713	0.6190	0.1858
5	4	15	50	32.6	43.1	3.5588	3.032	0.5268	0.1480
6	5	15	50	28.1	43.9	3.1893	2.831	0.3583	0.1123
7	7	15	50	23	44.4	3.3942	3.1033	0.2909	0.0857
8	9	15	50	20.4	44.7	2.0889	1.9556	0.1333	0.0638
9	11	15	50	19	45	2.0957	1.9914	0.1043	0.0498
10	16	15	50	16.7	45.2	3.2774	3.1384	0.1390	0.0424
11	21	15	50	13.9	46.6	2.3301	2.2406	0.0895	0.0384
12	26	15	50	12.5	46.9	2.6948	2.5932	0.1016	0.0377
13	31	15	50	10.8	47.2	3.4172	3.2893	0.1279	0.0374

Sampel	moisture pada bb (g)	moisture dari bb (g)	drying rate	ω	masa udara	m uap air di udara (g)	m uap air diterima udara (g)
1	199.8169	0.0000	0.0000	6.926	2.0745	14.36817216	0
2	163.3795	36.4374	0.0607	24.171	2.0745	50.1433857	35.7752
3	136.9342	26.4453	0.0441	20.951	2.0745	43.46340962	29.0952
4	111.4646	25.4697	0.0424	19.182	2.0745	39.79357182	25.4254
5	88.8165	22.6481	0.0377	18.241	2.0745	37.84144217	23.4733
6	67.4066	21.4098	0.0357	16.315	2.0745	33.84590367	19.4777
7	51.4230	15.9836	0.0133	13.527	2.0745	28.06212314	13.6940
8	38.2881	13.1349	0.0109	12.035	2.0745	24.96692925	10.5988
9	29.8611	8.4269	0.0070	11.368	2.0745	23.58321992	9.2150
10	25.4470	4.4141	0.0015	10.095	2.0745	20.94234739	6.5742
11	23.0462	2.4008	0.0008	8.934	2.0745	18.53382185	4.1656
12	22.6213	0.4249	0.0001	8.196	2.0745	17.00282112	2.6346
13	22.4570	0.1644	0.0001	7.228	2.0745	14.99467924	0.6265

Tabel L.2 Data Eksperimen temperatur pengering 45°C

Sampel	t (menit)	Rhin	Tin (C)	Rhout	Thout (C)	mb (g)	mk (g)	m.uap air di bb (g)	MC
1	0	15	45	11.5	45	2.4442	1.6302	0.8140	0.3330
2	1	15	45	56.5	37.1	2.103	1.521	0.5820	0.2767
3	2	15	45	47.1	38.9	2.834	2.179	0.6550	0.2311
4	3	15	45	41.3	39.5	2.378	1.919	0.4590	0.1930
5	4	15	45	39	40.5	2.275	1.921	0.3540	0.1556
6	5	15	45	34	41.5	2.441	2.144	0.2970	0.1217
7	7	15	45	29.2	42.2	2.124	1.918	0.2060	0.0970
8	9	15	45	25.8	42.6	2.913	2.689	0.2240	0.0769
9	11	15	45	23.3	42.9	2.772	2.606	0.1660	0.0599
10	16	15	45	22.4	43.1	2.531	2.409	0.1220	0.0482
11	21	15	45	19	43.3	2.244	2.152	0.0920	0.0410
12	26	15	45	15.2	43.7	2.896	2.7815	0.1145	0.0395
13	31	15	45	15	43.8	2.682	2.579	0.1030	0.0384

Sampel	moisture pada bb (g)	moisture dari bb (g)	drying rate	ω	masa udara	m uap air di udara (g)	m uap air diterima udara (g)
1	199.8169	0.0000	0.0000	6.874	2.1063	14.4790275	0.0000
2	166.0485	33.7684	0.0563	22.687	2.1063	47.78668851	33.3077
3	138.6733	27.3752	0.0456	20.782	2.1063	43.77409797	29.2951
4	115.8116	22.8616	0.0381	18.9	2.1063	39.8099534	25.3309
5	93.3626	22.4490	0.0374	18.06	2.1063	38.04062214	23.5616
6	73.0029	20.3598	0.0339	17.174	2.1063	36.17439893	21.6954
7	58.1921	14.8108	0.0123	15.416	2.1063	32.47144136	17.9924
8	46.1380	12.0541	0.0100	13.73	2.1063	28.92014075	14.4411
9	35.9307	10.2073	0.0085	12.61	2.1063	26.5610324	12.0820
10	28.9214	7.0094	0.0023	12.239	2.1063	25.77957776	11.3006
11	24.5989	4.3224	0.0014	10.397	2.1063	21.89968707	7.4207
12	23.7224	0.8766	0.0003	8.78	2.1063	18.49372439	4.0147
13	23.0425	0.6799	0.0002	8.471	2.1063	17.84286324	3.3638

Tabel L.3 Data Eksperimen temperatur pengering 40°C

Sampel	t (menit)	Rhin	Tin (C)	Rhout	Thout (C)	mb (g)	mk (g)	m.uap air di bb (g)	MC
1	0	15	40	15	40	2.4442	1.6302	0.8140	0.3330
2	1	15	40	68.1	33.7	1.3438	0.9675	0.3763	0.2800
3	2	15	40	57.3	35.2	1.3314	1.0162	0.3152	0.2367
4	3	15	40	49.2	35.9	1.6285	1.3020	0.3265	0.2005
5	4	15	40	45.8	36.7	1.5653	1.2999	0.2654	0.1695
6	5	15	40	40.1	37.5	1.3387	1.1499	0.1888	0.1410
7	7	15	40	34.3	38.2	1.2817	1.1282	0.1535	0.1198
8	9	15	40	30.0	38.7	1.1848	1.0650	0.1198	0.1011
9	11	15	40	27.5	39	1.2326	1.1289	0.1037	0.0841
10	16	15	40	25.7	39.3	1.1464	1.0673	0.0791	0.0690
11	21	15	40	23.0	39.6	1.1894	1.1179	0.0715	0.0601
12	26	15	40	20.5	39.6	2.0537	1.9458	0.1079	0.0526
13	31	15	40	17.4	39.7	2.2175	2.1091	0.1084	0.0489

X

Sampel	moisture pada bb (g)	moisture dari bb (g)	drying rate	ω	masa udara	m uap air di udara (g)	m uap air diterima udara (g)
1	199.8169	0.0000	0.0000	6.9010	2.1382	14.75548872	0.0000
2	168.0161	31.8008	0.0530	20.893	2.1382	44.67271785	29.9172
3	142.0279	25.9881	0.0433	19.828	2.1382	42.39557027	27.6401
4	120.2837	21.7442	0.0362	17.970	2.1382	38.42285645	23.6674
5	101.7236	18.5601	0.0309	14.325	2.1382	30.62923866	15.8737
6	84.6104	17.1132	0.0285	13.862	2.1382	29.63926745	14.8838
7	71.8671	12.7434	0.0106	12.825	2.1382	27.42198853	12.6665
8	60.6685	11.1986	0.0093	12.498	2.1382	26.72280801	11.9673
9	50.4592	10.2093	0.0085	12.168	2.1382	26.01721298	11.2617
10	41.3887	9.0705	0.0030	11.818	2.1382	25.26885462	10.5134
11	36.0787	5.3100	0.0018	10.331	2.1382	22.08940067	7.3339
12	31.5353	4.5434	0.0015	9.596	2.1382	20.51784811	5.7624
13	29.3303	2.2050	0.0007	7.567	2.1382	16.17950778	1.4240

BIODATA PENULIS



Aji Putera Astagina lahir di Jakarta, 17 Oktober 1992. Merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Adeng Sapaat dan Endang Wiworo. Pendidikan formal yang ditempuh adalah SD Budi Luhur (1999-2005), SMP Negeri 29 Jakarta (2005-2008), SMA Negeri 70 Jakarta (2008-2010). Sejak muda, penulis selalu tertarik dengan dunia teknik. Oleh karena itu, penulis memilih untuk melanjutkan studinya di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi

Sepuluh Nopember yang terdaftar dengan NRP 2110100155.

Selama masa kuliah, penulis aktif sebagai Asisten Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Mesin FTI-ITS dengan tujuan untuk meningkatkan *soft skill*. Penulis juga aktif dalam beberapa kepanitiaan yang dilaksanakan didalam kampus maupun diluar kampus Teknik Mesin FTI-ITS. Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi sebagai bahasan Tugas Akhir yang memiliki topik Pengerigan Batubara di bawah bimbingan Prof. Dr. Eng. Prabowo, M. Eng.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, dapat melalui email ajiaastagina@gmail.com.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Studi Eksperimen Karakteristik Pengeringan Batubara Terhadap Variasi Temperatur Pengeringan Pada *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer*

Aji Putera Astagina, dan Prabowo

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak— PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dalam pengoperasiannya membutuhkan bahan bakar yaitu batubara. Indonesia sendiri penggunaan batubara dengan nilai kalor rendah banyak digunakan. Dengan nilai kalor yang rendah maka kebutuhan dari boiler untuk batubara semakin banyak. Secara umum boiler membutuhkan pulverized coal yaitu batubara yang dihaluskan oleh pulverizer sebelum memasuki boiler. Dengan batubara berkalori rendah maka pulverizer harus bekerja maksimal untuk memasok batubara ke boiler. Hal ini akan mempengaruhi umur kerja dari pulverizer tersebut. Oleh karena itu batubara yang digunakan harus diberikan perlakuan khusus untuk meningkatkan kualitasnya. Peningkatan kualitas batubara telah dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan airnya. *Swirling Fluidized Bed Dryer* merupakan salah satu alat untuk mengeringkan batubara sehingga nilai kalornya menjadi lebih baik. Eksperimen dilakukan dengan alat percobaan yang sudah ada. Percobaan dilakukan dengan sampel seberat 600gr dengan diameter rata-rata 6mm. Sampel dikeringkan pada drying chamber dengan pengambilan sampel pada tiap menit pada lima menit pertama, tiap dua menit pada enam menit kemudian, dan tiap lima menit pada lima belas menit kemudian. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven selama tiga jam sesuai dengan standar ASTM. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan temperatur inlet udara pada 40°C, 45°C, dan 50° C. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa pada temperatur 40°C, 45°C dan 50° C didapat *moisture content* akhir batubara berturut-turut sebesar 4,89 %; 3,84 %; dan 3,74 %. Untuk *drying rate* berturut-turut sebesar 2,121 %/menit; 2,0518 %/menit; dan 1,9789 %/menit.

Kata Kunci— *Swirling Coal Dryer*, Fluidisasi, Psychometric

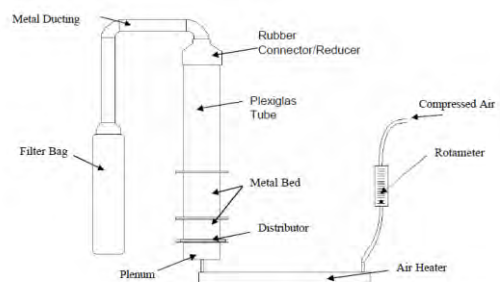
I. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari energi merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting bagi setiap individu. Tentunya dalam sebuah negara yang berjumlah penduduk sangat besar seperti Indonesia memiliki kebutuhan energi yang besar. Kekayaan alam Indonesia memberikan beberapa alternatif untuk membangkitkan energi. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

PLTU dalam pengoperasiannya membutuhkan bahan bakar yaitu batubara. Batubara sendiri dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan kandungan air dan nilai kalori batu bara tersebut. Di Indonesia sendiri penggunaan batubara dengan kandungan air tinggi banyak digunakan.[1] Dengan nilai kalor yang rendah maka kebutuhan dari boiler untuk batubara semakin banyak. Secara umum boiler membutuhkan *pulverized coal* yaitu batubara yang dihaluskan oleh *pulverizer* sebelum memasuki boiler. Untuk menjamin sistem pembangkit dapat beroperasi secara kontinyu, biasanya dipasang *standby pulverizer* yang

digunakan untuk menggantikan fungsi *pulverizer* yang mengalami kerusakan. Dengan menggunakan batubara dibawah spesifikasi boiler maka suplai batubara yang dibutuhkan untuk memanaskan boiler akan semakin tinggi, imbasnya *pulverizer* akan beroperasi secara maksimum sehingga *reliability* dari *pulverizer* akan turun. Untuk memenuhi kapasitas yang diinginkan, masalah yang timbul adalah jika terjadi kerusakan pada salah satu *pulverizer* maka kapasitas mill dari batubara akan berkurang, sehingga suplai batubara ke boiler juga berkurang, hal ini akan berdampak pada performa dari PLTU.[2]

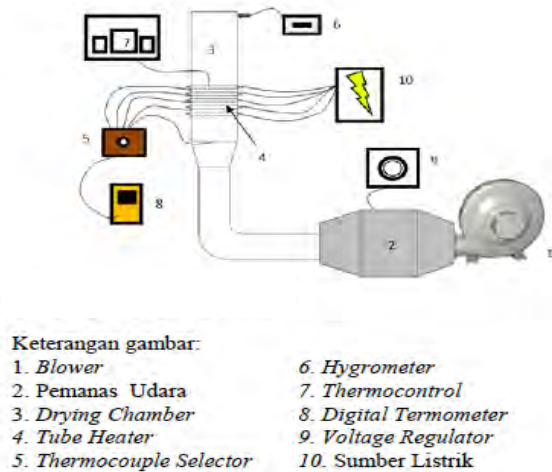
Penelitian terkait dengan teknologi pengeringan batubara pernah dilakukan oleh Edward Levy (2006). Dalam penelitiannya yang berjudul “*Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants*” Levy menggunakan alat *Fluidized Bed Coal Dryer* Pada alat ini udara yang ditekan dilewatkan pada rotameter dan pemanas udara, dengan kecepatan 1.6 m/s serta temperatur maksimum hingga 66°C. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukannya didapatkan bahwa temperatur udara pemanas pada sisi masuk *drying chamber* berpengaruh terhadap laju pengeringan batubara. Pada penelitian ini, semakin tinggi temperatur udara pemanas pada sisi inlet akan meningkatkan laju pengeringan batubara [6].



Gambar 1. Fluidized Bed Coal Dryer

Penelitian terkait juga pernah dilakukan oleh Anindya Ayu Pakarti (2013) yang berjudul “*Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned*” pada tahun 2013. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan temperatur udara pengering dengan menggunakan *tube heater* pada *swirling fluidized bed dryer* untuk mengetahui karakteristik pengeringan batubara.

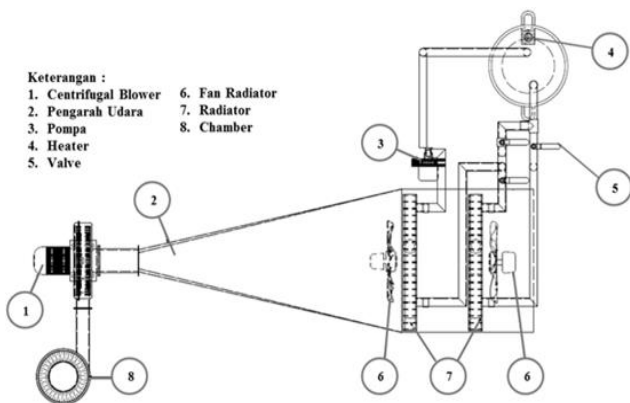
Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa seiring meningkatnya temperature udara pengering maka laju pengeringan akan semakin meningkat.[3]



Gambar 2. Swirling fluidized bed coal dryer dengan tube heater

II. METODOLOGI

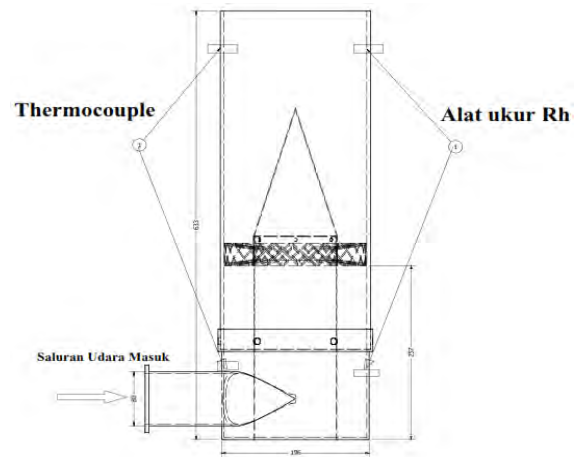
A. Metode Eksperimen



Gambar 3. Swirling fluidized bed coal dryer

Udara pengering yang digunakan untuk mengeringkan batubara merupakan udara dari lingkungan luar alat yang dihembuskan dengan menggunakan fan. Udara yang masuk ini kemudian akan di panaskan dengan fluida panas melalui dua buah radiator dengan fan pada tiap radiator. Fluida yang digunakan untuk memanaskan udara ini dipanaskan menggunakan heater hingga temperatur tertentu sesuai dengan variasi dengan menggunakan termokontrol yang kemudian akan di alirkan ke radiator untuk memanaskan udara menggunakan sebuah pompa air. Dengan cara inilah udara pengering akan didapatkan. Udara pengering ini kemudian akan di teruskan oleh blower menuju *drying chamber* dengan kecepatan tertentu. Kecepatan yang digunakan merupakan kecepatan fluidisasi dari batubara yang sebelumnya dihitung terlebih dahulu, kemudian udara yang dihembuskan blower diukur dengan anemometer hingga mencapai kecepatan fluidisasi minimum tersebut. Kecepatan dari udara yang dihembuskan oleh blower diatur dengan menggunakan *voltage regulator*. Pada chamber terdapat distributor aliran yang berupa *blade* dengan sudut 10°C. Ketika udara yang dihembuskan melewati *blade* aliran akan menimbulkan efek putaran pada chamber. Udara yang

berputar inilah yang akan digunakan untuk mengeringkan batubara.



Gambar 4. Pemasangan Alat Ukur

Selama proses pengujian tersebut terdapat parameter-parameter yang diukur yaitu :

1. T_{out} menggunakan *Thermocouple* 1 type K, mengukur temperatur *dry bulb* udara keluaran *chamber*
2. RH_{out} menggunakan RH meter 1, mengukur nilai *relative humidity* udara saat keluar *chamber*.
3. T_{in} menggunakan *Thermocouple* 2 type K, mengukur temperatur *dry bulb* udara masuk *chamber*
4. RH_{in} menggunakan RH meter 2, mengukur nilai *relative humidity* udara saat masuk *chamber*.
5. Anemometer untuk menghitung kecepatan udara saat masuk *chamber*.

B. Variasi Temperatur Udara Pengering

Pada penelitian ini yang divariasikan adalah temperatur udara pengering. Variasi yang digunakan yaitu 40°C, 45°C, dan 50° C dengan kecepatan inlet sebesar 2 m/s, dan sudut blade 10°. Pengaturan kecepatan dengan mengatur pada *sentrifugal blower* dengan *voltage regulator* yang diukur menggunakan anemometer

C. Analisa Pengeringan dari Sisi Udara

Psychrometric chart merupakan grafik yang menampilkan campuran antara uap air dengan udara. Proses perpindahan massa dari sisi udara pengering dapat dilihat dengan menggunakan *psychrometric chart*. Analisa dilakukan dengan terlebih dahulu memplotkan data yang didapat selama proses pengeringan berupa *relative humidity inlet* dan *relative humidity outlet*, serta *temperature dry bulb inlet* udara pengering dan *temperature dry bulb outlet* udara pengering.

Perhitungan laju alir massa dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m} = \rho_{udara} \cdot v \cdot A_{blade} \quad (1)$$

Massa jenis udara pengering *inlet* didapat dengan memplot data nilai RH dan $T_{db \text{ inlet}}$ dalam *psychrometric*. Luasan blade adalah luasan hidrolis dari *drying chamber* yang dialiri udara. Luasan ini ditetapkan pada posisi sebelum udara pengering masuk ke dalam *drying chamber*. *Pressure drop* yang terjadi saat melalui *blade distributor* diabaikan karena besarnya kecil.

Perhitungan selisih rasio humidity antara *inlet* dengan *outlet* yang terbaca selama proses pengeringan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta\omega = \omega_t - \omega_{inlet} \quad (2)$$

Untuk mendapatkan nilai massa udara kering dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$m_{udara\ kering} = \dot{m} \cdot interval\ pengeringan \quad (3)$$

Sehingga output akhir yang dihasilkan pada analisa sisi udara yaitu massa uap air yang diserap oleh udara yang dihitung dengan persamaan:

$$m_{diserap} = \Delta\omega \times m_{udara\ kering} \quad (4)$$

Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel batubara terhadap laju pengeringan juga bisa diketahui dari nilai koefisien perpindahan massa nya [5]. Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan massa digunakan rumus sebagai berikut :

$$h_m = S_h \frac{D_{AB}}{D_{batubara}} \quad (5)$$

D. Analisa Pengeringan dari Sisi Batubara

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan uap air yang dilepas oleh udara dengan uap air yang dilepas oleh batubara. Pada teorinya jumlah uap air yang dilepas dan yang diserap sama besarnya. Untuk menghitung massa uap air yang dilepas oleh batubara dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$MC = \frac{m_{basah} - m_{kering}}{m_{basah}} \quad (5)$$

Dari persamaan di atas , Maka drying rate yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$Drying\ rate = \frac{MC_{awal} - MC_{akhir}}{\Delta t} \quad (6)$$

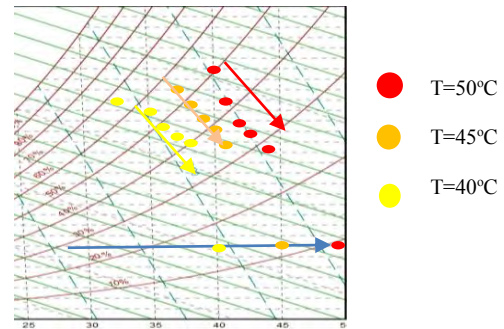
E. Prosedur Eksperimen

Penelitian dilakukan dengan variasi temperatur udara pengering 40°C, 45°C, dan 50°C dan menggunakan batubara dengan ukuran diameter 6 mm serta beban pengeringan sebesar 600 gram. Sebelum proses pengeringan dimulai, lakukan pengukuran kecepatan udara pada keluaran blower sebelum memasuki *blade distributor* sesuai dengan kecepatan yang telah ditentukan kemudian pasang *blade distributor*. Proses pengeringan dimulai setelah temperatur udara masuk chamber mencapai temperatur sesuai variasi. Setelah itu masukan batubara 600 gram. Untuk mengetahui perubahan *moisture content* selama proses pengeringan diambil massa sampel batubara basah dengan interval waktu untuk 1 menit 5 kali, 2 menit 3 kali, dan interval 5 menit 4 kali, setiap sampel di timbang dan didapatkan data massa basah, kemudian untuk semua massa sampel batubara basah dilakukan pengovenan selama 60 menit dengan temperatur 105°C sesuai standar ASTM D 3173 dan hasil setelah dilakukan proses tersebut sampel kemudian di timbang kembali untuk mengetahui perbedaannya dan didapatkan massa kering. Dari penelitian didapatkan massa sampel batubara kering, massa batubara basah, T_{Dbin} , T_{Dbout} , *relative humidity inlet* dan *relative humidity outlet*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer* dengan variasi temperatur udara pengering didapatkan hasil analisa untuk mengetahui pengaruh temperatur udara pengering terhadap karakteristik pengeringan batubara. Dari sisi udara dapat dilihat dari grafik *psychrometric chart*, *relative humidity*, *temperature dry bulb*, selisih *humidity ratio*. Dari sisi batubara didapatkan grafik *sampling*, *moisture content*, dan *drying rates*. Sub-bab A sampai D menjelaskan mengenai analisa dari sisi udara dan sub-bab E sampai F menjelaskan mengenai analisa dari sisi batubara.

Diagram Psychrometric Hasil Data Pengeringan



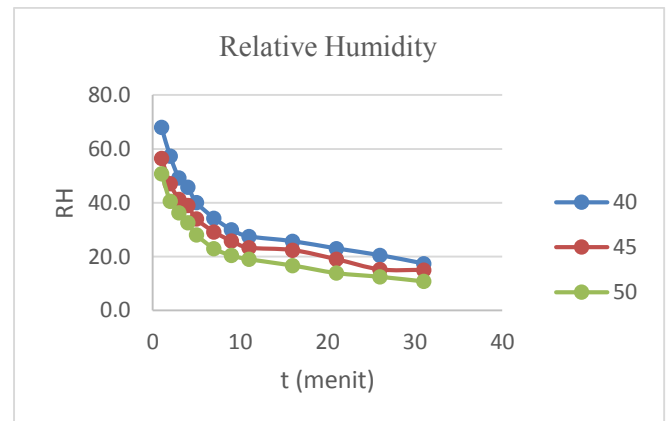
Gambar 4. Data penelitian dalam diagram psikometrik

Untuk mengetahui campuran antara uap air pada udara pengering dapat dilihat pada diagram psikrometrik, dari diagram psikrometrik ini dapat diketahui beberapa parameter yang terkait dengan udara pengering seperti *humidity ratio*. Untuk mengetahui karakteristik dari udara selama proses pengeringan maka data hasil penelitian dari sisi udara yaitu temperatur outlet pengeringan dan *relative humidity* di plotkan kedalam diagram psikrometrik pada gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa variasi temperatur udara pengering 50°C memiliki nilai *humidity ratio* tertinggi pada setiap menit, kemudian diikuti oleh 45°C dan 40°C. Tiap titik mewakili waktu pengeringan setiap satu menit yang dimulai dari titik teratas pada semua variasi.

Dalam diagram psikrometrik ini terjadi proses *heating* dan *dehumidifying*. Proses *heating* dan *dehumidifying* terjadi pada saat pengeringan, dimana semakin lama waktu pengeringan maka temperatur udara pengering akan meningkat dan nilai *humidity ratio* akan menurun, hal ini berarti bahwa semakin lama waktu pengeringan maka kandungan uap air yang ada didalam udara akan semakin menurun. Uap air pada udara menunjukkan banyaknya uap air yang diterima oleh udara dari batubara.

A. Pengaruh temperatur udara pengering terhadap Relative Humidity

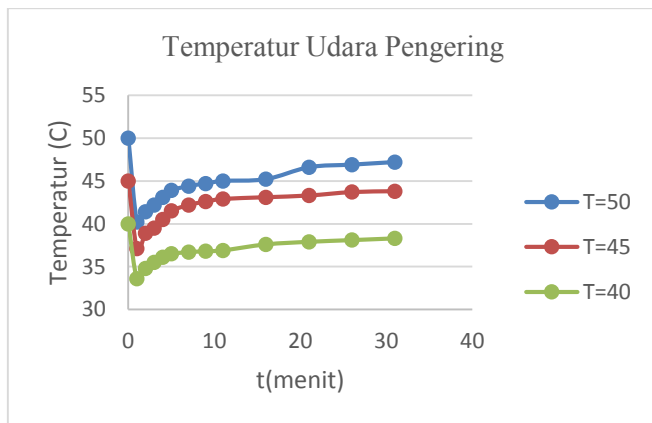


Gambar 5. Pengaruh temperatur udara pengering terhadap *relative humidity*

Gambar 5 menunjukkan pengaruh dari temperatur pengeringan terhadap *relative humidity* dari udara. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa ketiga tren grafik mengalami penurunan. *Relative humidity* sendiri mengalami penurunan akibat dari meningkatnya temperatur dari udara, hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 6 mengenai temperatur outlet pengeringan.

Pada lima menit pertama terjadi penurunan *relative humidity* yang tercepat, hal ini dikarenakan kandungan uap air pada batubara masih cukup banyak. Pada temperatur 50°C *relative humidity* turun hingga mencapai 28.1, kemudian pada temperatur 45°C *relative humidity* turun hingga mencapai 34, dan pada temperatur 40°C *relative humidity* turun hingga 36.4. Pada waktu pengeringan selanjutnya ketiga variasi temperatur tidak mengalami penurunan *relative humidity* yang drastis. Hingga pada 31 menit pengeringan ketiga variasi memiliki sisa *relative humidity* yang 10.8, 15, 18.9 yaitu 50°C, 45°C, dan 40°C secara berurutan. *Relative humidity* yang lebih rendah menghasilkan laju pengeringan yang cepat maka temperatur udara pengering 50 °C menghasilkan pengeringan yang paling cepat dibandingkan dengan variasi yang lebih rendah.

B. Pengaruh temperatur udara pengering terhadap Temperatur Udara Keluar Chamber



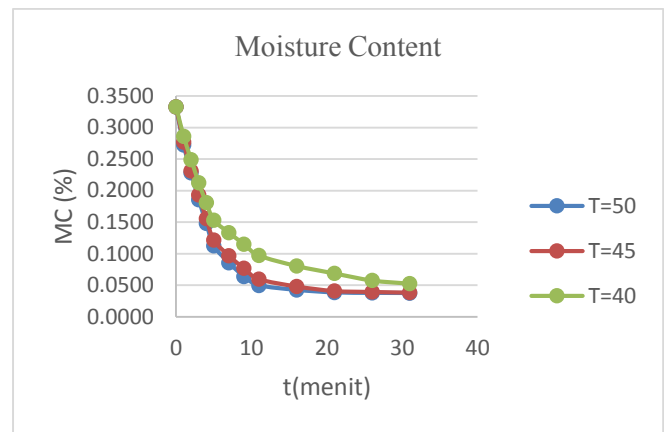
Gambar 6. Pengaruh sudut *blade* terhadap temperatur udara keluar *chamber*

Gambar 6 menunjukkan pengaruh dari temperatur pengeringan terhadap temperatur outlet dari udara pengering. Pada grafik diatas dapat dilihat ketiga variasi mengalami penurunan pada menit pertama, kemudian mengalami peningkatan.

Pada menit pertama terjadi penurunan temperatur outlet yang tercepat, hal ini dikarenakan kandungan uap air pada batubara masih cukup banyak. Pada temperatur 50°C temperatur outlet turun hingga mencapai 40.2°C, kemudian pada temperatur 45°C temperatur outlet turun hingga mencapai 37.1°C, dan pada temperatur 40°C temperatur outlet turun hingga 33.6°C. Pada waktu pengeringan selanjutnya ketiga variasi temperatur tidak mengalami peningkatan temperatur outlet. Hingga pada 31 menit pengeringan ketiga variasi memiliki sisa temperatur outlet yang hampir sama 47.2°C, 43.8°C, 38.3°C yaitu 50°C, 45°C, dan 40°C secara berurutan. Temperatur inlet pengeringan yang lebih besar akan menghasilkan temperatur outlet pengeringan yang besar. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa temperatur pengeringan tertinggi yaitu 50°C memiliki temperatur outlet tertinggi

C. Pengaruh Temperatur Udara Pengering terhadap Moisture Content

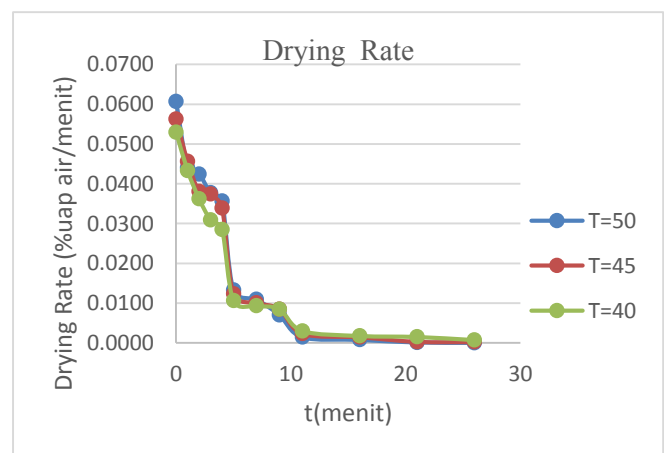
Gambar 7 menunjukkan pengaruh dari temperatur pengeringan terhadap *moisture content* dari batubara. Pada grafik diatas dapat dilihat ketiga variasi mengalami penurunan hingga akhir pengeringan.



Gambar 7. Pengaruh Temperatur Pengeringan terhadap *moisture content*

Pada lima menit pertama terjadi penurunan *moisture content* yang tercepat, hal ini dikarenakan kandungan uap air pada batubara masih cukup banyak. Pada temperatur 50°C *moisture content* turun hingga mencapai 0.1123, kemudian pada temperatur 45°C *moisture content* turun hingga mencapai 0.1217, dan pada temperatur 40°C *moisture content* turun hingga 0.1533. Pada waktu pengeringan selanjutnya ketiga variasi temperatur tidak mengalami penurunan *moisture content* yang cepat. Hingga pada 31 menit pengeringan ketiga variasi memiliki sisa *moisture content* yang hampir sama 0.0374, 0.0384, 0.0526 pada 50°C, 45°C, dan 40°C secara berurutan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa temperatur pengeringan tertinggi yaitu 50°C memiliki waktu pengeringan tercepat. Hal tersebut dapat terjadi karena kenaikan temperatur pada udara pengering meningkatkan koefisien perpindahan masa yang terjadi pada proses pengeringan. Koefisien perpindahan masa untuk tiap variasi temperatur akan dijelaskan pada Gambar 4.9

D. Pengaruh Temperatur Udara Pengering Terhadap Drying Rate



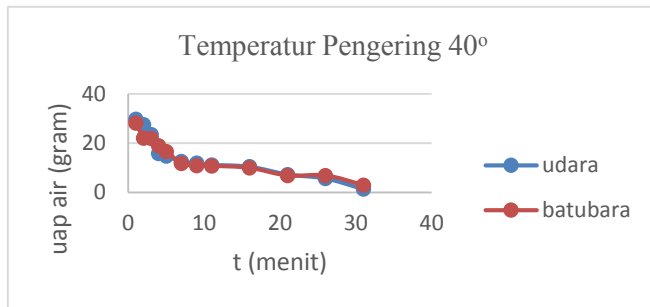
Gambar 8. Pengaruh temperature udara pengering terhadap *drying rate*

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh dari temperatur udara pengering terhadap *drying rate* fungsi waktu. Pada grafik diatas dapat dilihat ketiga variasi temperatur memiliki tren grafik menurun.

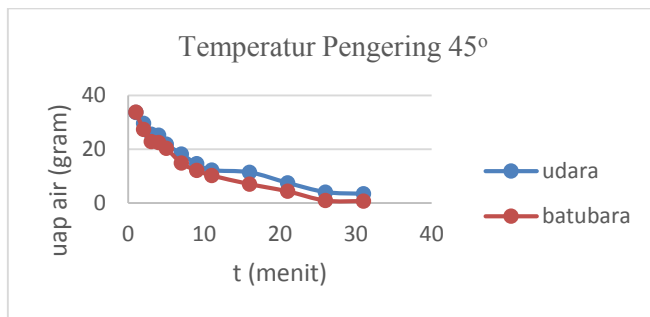
Pada grafik dapat dilihat bahwa pada menit pertama proses pengeringan, variasi temperatur pengeringan 50°C memiliki *drying rate* tertinggi yaitu , kemudian diikuti oleh temperatur pengeringan 45°C sebesar , dan *drying rate* terendah dimiliki oleh temperatur pengeringan 40°C sebesar . *Drying rate* tertinggi dimiliki oleh temperatur pengering 50°C hingga sembilan menit pengeringan, hingga kemudian ia memiliki *drying rate* terendah. Hal ini terjadi karena dengan *drying rate* yang sangat besar pada awal pengeringan, maka *moisture* dari batubara yang tersisa di dalam lebih sedikit

dibandingkan yang lain sehingga, *drying rate* akan menurun di sisa waktu pengeringan.

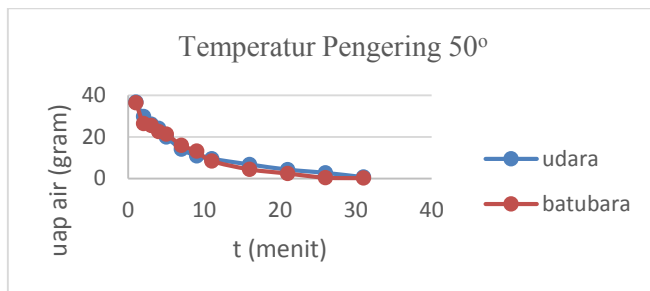
E. Pengaruh Temperatur Udara Pengering terhadap Perbandingan Uap Air yang Diserap oleh Udara dan Dilepas oleh Batubara



Gambar 9. Grafik Perbandingan Massa Uap Air yang dilepas Batubara dan diterima pada temperature udara pengering 40°



Gambar 11. Grafik Perbandingan Massa Uap Air yang dilepas Batubara dan diterima pada temperature udara pengering 45°

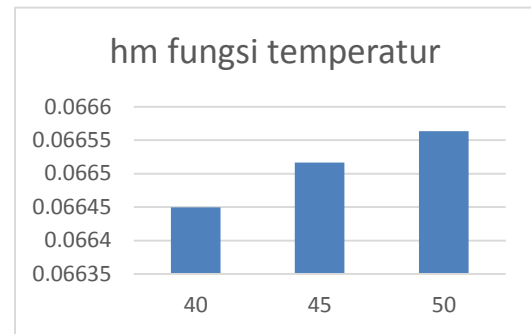


Gambar 12. Grafik Perbandingan Massa Uap Air yang dilepas Batubara dan diterima pada temperature udara pengering 50°

Gambar menunjukkan perbandingan dari massa uap air yang dilepas oleh batubara dengan kandungan uap air yang diterima oleh udara pengering pada saat proses pengeringan. Pada ketiga variasi temperatur udara pengering tren grafik mengalami penurunan. Penurunan grafik juga disertai dengan grafik udara dan batubara yang berhimpit pada setiap variasi.

Temperatur pengeringan 50°C dapat melepaskan uap air dari batubara terbesar pada pengeringan. Hal ini dapat terlihat jelas pada Gambar 4.4 di menit pertama. Selain itu temperatur pengeringan 40°C melepaskan uap air dari batubara terkecil pada pengeringan. Lebih besarnya uap air yang dilepas dengan temperatur lebih tinggi dapat dijelaskan dari *relative humidity* pada Gambar 5 dan koefisien perpindahan masa pada Gambar 13 yaitu semakin besar temperatur maka koefisien perpindahan masa akan semakin besar.

F. Pengaruh Temperatur Udara Pengering Terhadap Koefisien Perpindahan Masa



Gambar 13 Pengaruh temperatur udara terhadap koefisien perpindahan masa

Gambar 13 menunjukkan pengaruh temperatur udara pengering terhadap koefisien perpindahan masa. Temperatur mempengaruhi langsung terhadap *reynolds number* (Re) dan schmidt number (Sc) maka nilai *reynolds number* dan *schmidt number* (Sc) maka nilai *sherwood number* (Sh). semakin tinggi Nilai *sherwood number* semakin naik maka koefisien perpindahan masa konveksi semakin meningkat.

Nilai koefisien perpindahan mssa temperatur 40°C sebesar 0,06644 m/s, temperatur 45°C sebesar 0,06651 m/s, dan temperatur 50°C sebesar 0,06656 m/s. Grafik tersebut menunjukan bahwa temperatur udara pengering menghasilkan koefisien perpindahan masa yang terbesar.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer* dan analisa dari grafik hasil eksperimen, dapat diambil beberapa kesimpulan. Kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

1. Temperatur udara pengering 50°C memiliki temperatur outlet pengeringan yang tertinggi dan relative humidity terendah diikuti oleh temperatur udara pengering 45°C dan 40°C
2. Dengan *moisture content* batubara awal sebesar 0.3303, temperatur udara pengering 50°C, 45°C, dan 40°C dapat mengurangi mositure content batubara secara berturut-turut sebesar 0.374, 0.493, dan 0.526
3. Temperatur udara pengering 50°C memiliki rata-rata *drying rate* terbesar yaitu 0.0212 %uap air/menit, diikuti oleh temperatur udara pengering 45°C, kemudian 40°C
4. Temperatur udara pengering 50°C memiliki koefisien perpindahan masa sebesar 0,06644 m/s, koefisien perpindahan masa pada temperatur udara pengering 45°C sebesar 0,06651 m/s dan koefisien perpindahan masa pada temperatur udara pengering 40°C sebesar 0,06656 m/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi masukan dan bimbingan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Dan juga penulis berterima kasih pula terhadap Ir. Kadarisman, Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT., dan Giri Nugroho, ST, M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir, atas masukan dan saran terhadap tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara .2006. Jakarta, Indonesia
- [2]. <http://scialert.net> 14 Maret 2015
- [3]. Pakarti, Anindya Ayu., Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned. 2013. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia.
- [4]. <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/drying5.htm> 14 Maret 2015
- [5]. Incropera, Frank P., DeWitt, Bergman, Lavine. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- [6]. Edward K, Levy., Sarunac, Nenad., Bilirgen, Harun., Caram, Hugo., Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants Final Report. 2011. Energy Research Center Lehigh University. Betlehem.



STUDI EKSPERIMEN
KARAKTERISTIK PENGERINGAN BATUBARA TERHADAP VARIASI
TEMPERATUR PENGERINGAN PADA *SWIRLING FLUIDIZED BED*
COAL DRYER

DOSEN PEMBIMBING:
Prof. Dr. Eng. PRABOWO, M. Eng.

AJI PUTERA ASTAGINA
2110100155



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2015

Latar Belakang

**KONSUMSI BATUBARA MENURUT JENIS INDUSTRI DI INDONESIA
TAHUN 1998 - 2005**

JENIS INDUSTRI	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PLTU	10,911,341	13,047,717	13,943,613	19,165,256	21,902,161	23,810,054	23,492,328	25.132.174
SEMEN	1,279,973	2,762,831	3,763,884	5,938,172	5,355,460	5,068,194	6,070,825	6.023.248
Industri Tekstil	-	-	-	-	-	274,160	381,440	1.307.610
Industri Kertas	692,737	805,397	766,549	804,202	471,751	1,680,304	1,106,227	2,272,443
METALURGI	144,907	123,226	134,393	220,666	236,802	225,907	122,827	160.490
Briket	29,963	38,302	36,799	31,265	24,708	24,976	23,506	28,267
Lain - Lain	2,600,550	2,573,355	5,545,609	2,407,667	3,792,481	4,715,840	5,237,639	417,583
Jumlah	15,659,471	19,350,828	24,190,847	28,567,228	31,783,364	35,799,436	36,434,791	35.341.816

Sumber : - Hasil Survei Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (tekMIRA), 2006
- Direktorat Pembinaan dan Pengusahaan Mineral dan Batubara (DPPMB), 2006



CARBON AND HEATING VALUE - HIGH

HIGH - MOISTURE CONTENT

Lignite

Sub-bituminous

Bituminous

Anthracite



Tujuan

Tujuan

- Mengetahui pengaruh variasi temperatur inlet udara pengering (40°C , 45°C , 50°C) terhadap karakteristik laju pengeringan pada ruang pengering batubara lignite pada *swirling fluidized bed*.
- Mengetahui perubahan *moisture content*, *specific humidity*, dan *relative humidity* seiring berjalannya waktu pengeringan.
- Mengurangi jumlah *moisture content* di dalam batubara guna meningkatkan nilai kalor

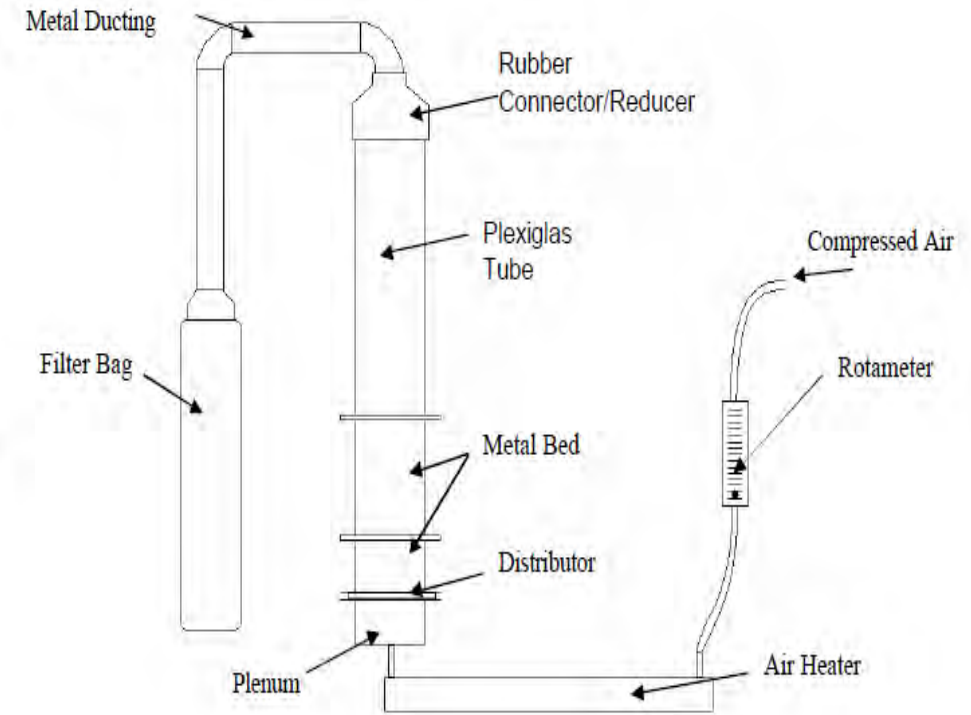
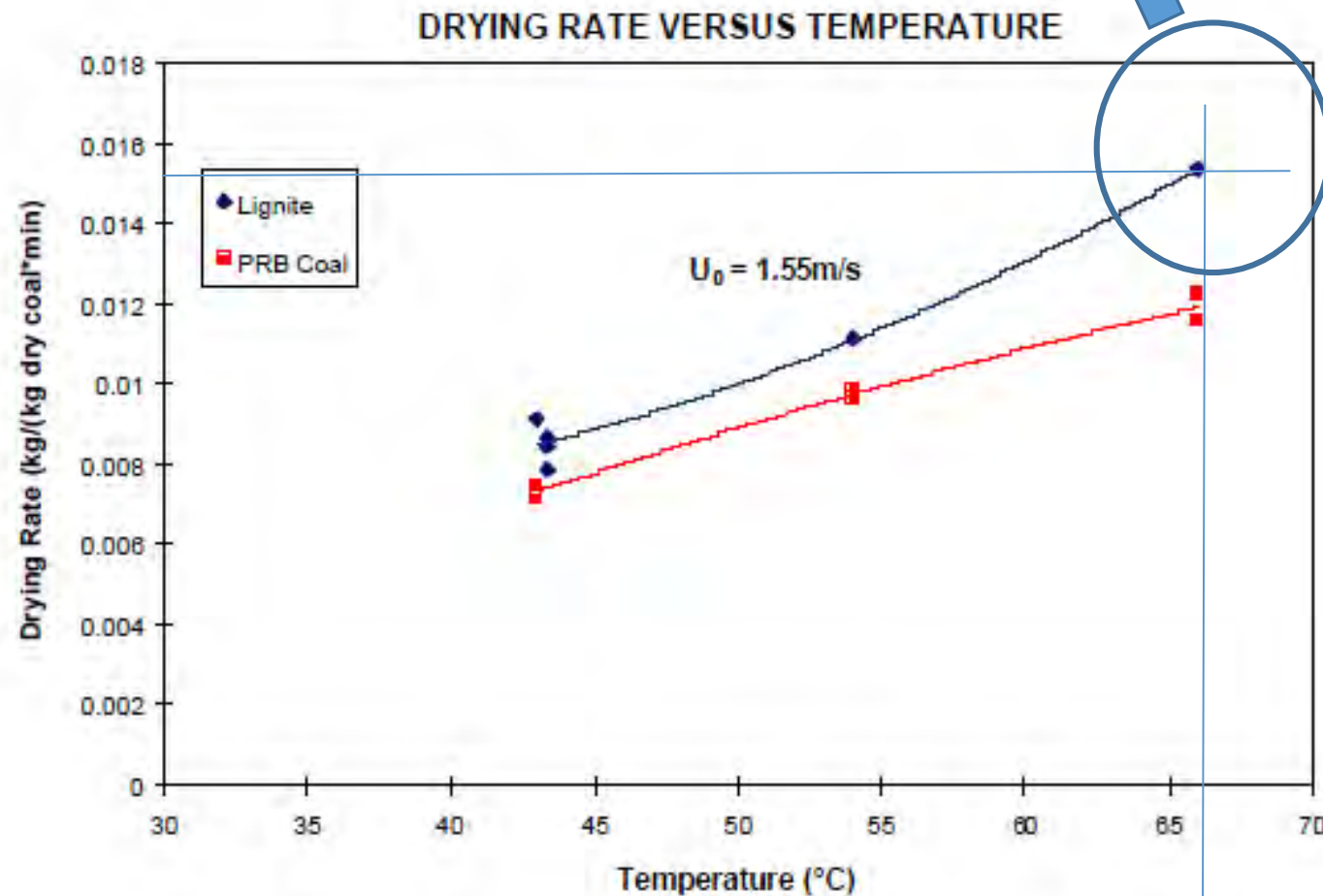
Batasan Masalah

- Udara pengeringan dimodelkan sebagai gas ideal
- Ruang Pengeringan terisolasi dengan baik, perpindahan panas terjadi pada batu bara dan udara pengering
- Temperatur, *specific humidity*, kecepatan udara pada inlet konstan
- *Steady State*
- Massa batubara sebelum proses pengeringan dianggap sama.
- Diameter sampel batubara sama yaitu 6 mm dan berbentuk *granular spherical*
- Beban pengeringan batubara konstan

Penelitian Terdahulu

Edward Levy, 2006

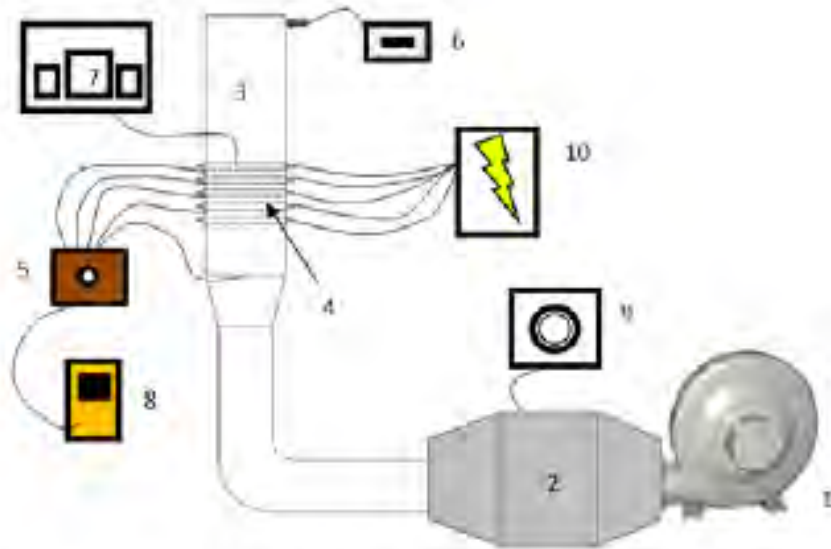
Temperatur tertinggi menghasilkan drying rate terbesar



Fluidized Bed Coal Dryer

Penelitian Terdahulu

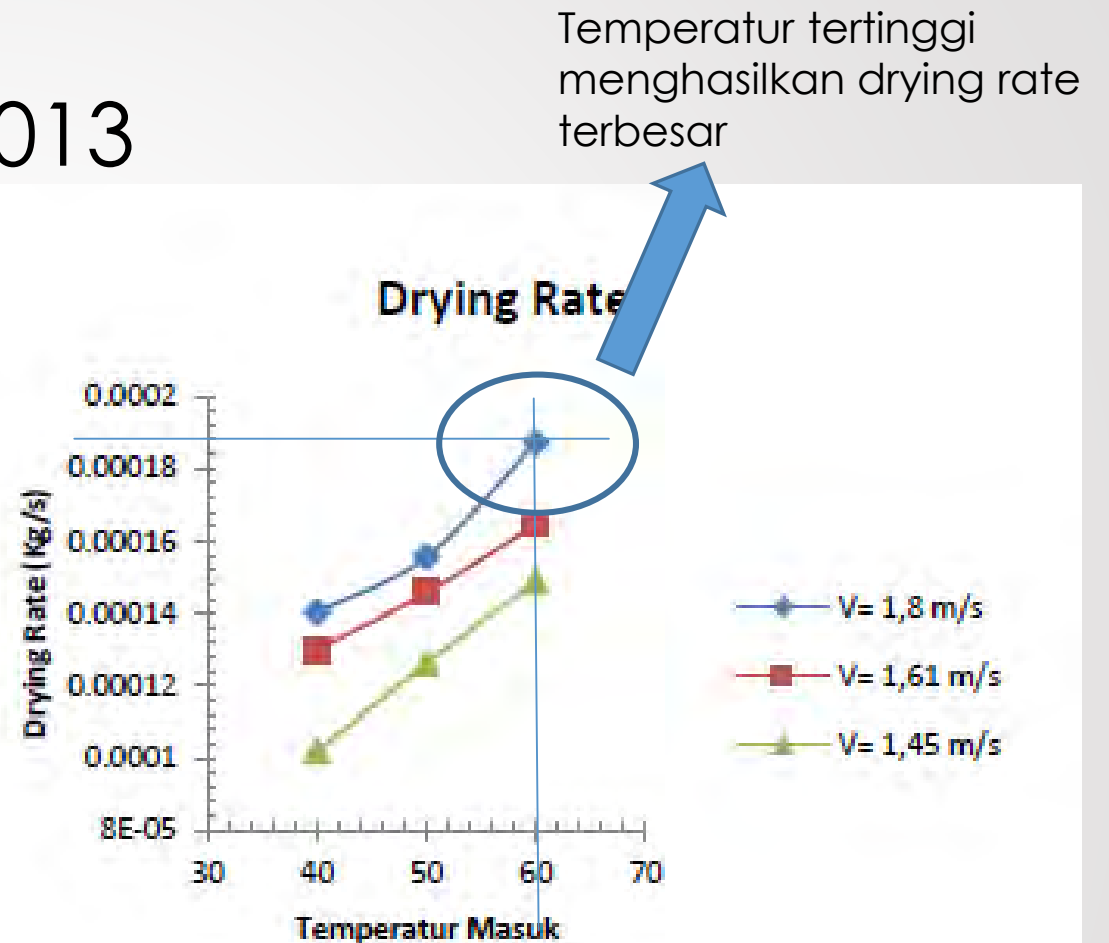
Anindya Ayu Pakarti, 2013



Gambar 1. Instalasi Alat Percobaan

Keterangan gambar:

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Blower | 6. Hygrometer |
| 2. Pemanas Udara | 7. Thermocontrol |
| 3. Drying Chamber | 8. Digital Termometer |
| 4. Tube Heater | 9. Voltage Regulator |
| 5. Thermocouple Selector | 10. Sumber Listrik |

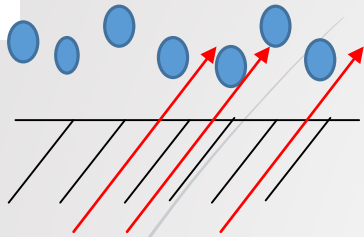


Fluidized Bed Coal Dryer dengan Staggered Air Heater

Dasar Teori

- Swirling Fluidized Bed Coal Dryer menggunakan prinsip dasar fluidisasi

Batubara



Udara pengering

Hukum Newton I

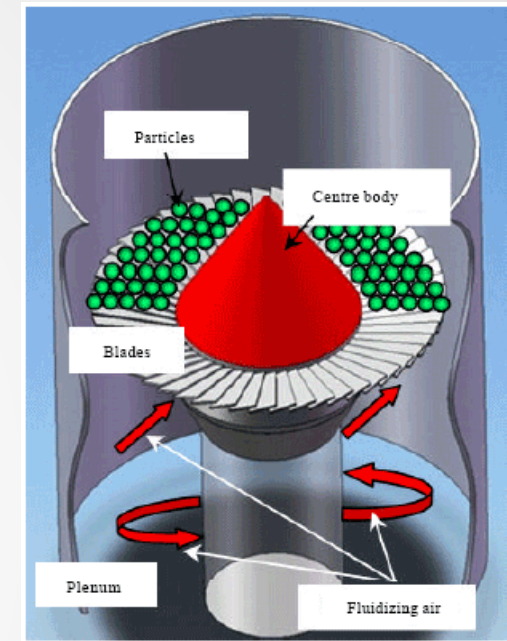
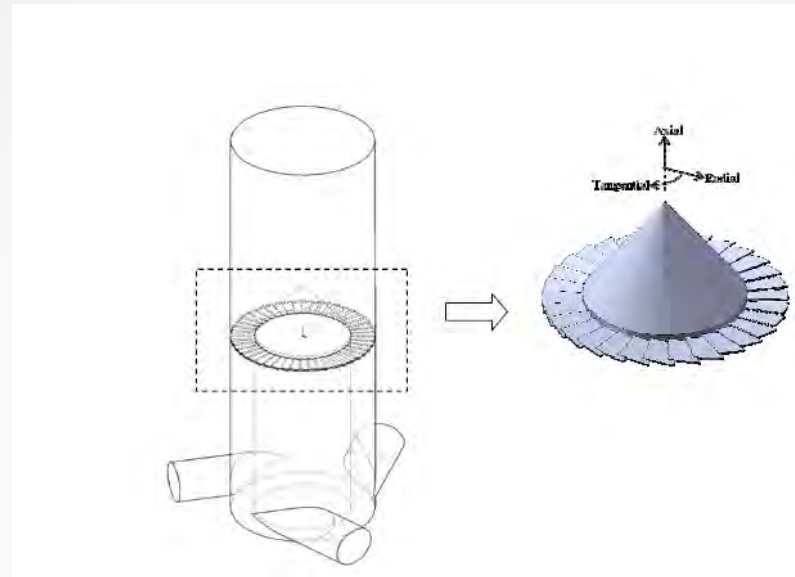
$$\Sigma F = 0$$

$$F_D + F_B - W = 0$$

$$F_D + F_B = W$$

$$\frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_{udara} \cdot v^2 \cdot A \cdot \sin\theta + V \cdot \rho_{udara} \cdot g = \rho_{batubara} \cdot V \cdot g$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \rho_{batubara} \cdot V \cdot g - V \cdot \rho_{udara} \cdot g}{C_D \cdot \rho_{udara} \cdot A \cdot \sin\theta}}$$



Skema Peralatan

Dimensi chamber

:Diameter luar 200 mm,
Diameter dalam 190 mm,
Tinggi 650 mm

Suplay udara

:Menggunakan blower sentrifugal
dengan daya 750watt
Debit max 1100 m³/jam, 2500 rpm.
Untuk pengaturan kecepatan
digunakan voltage regulator.

Penukar panas

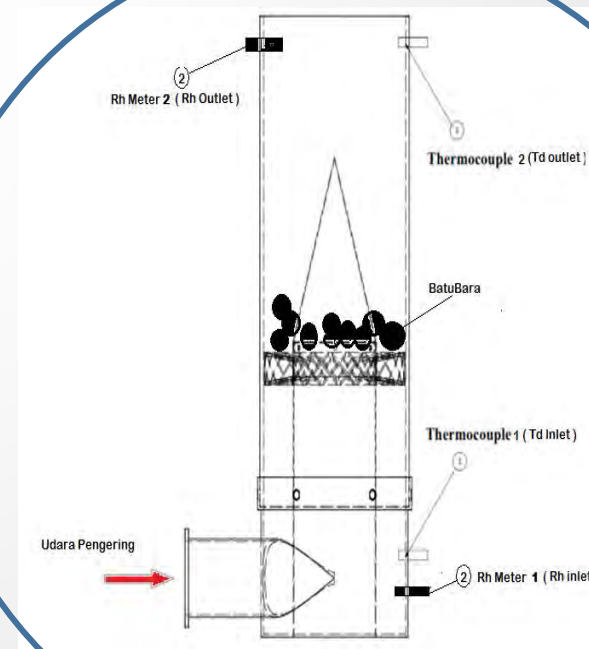
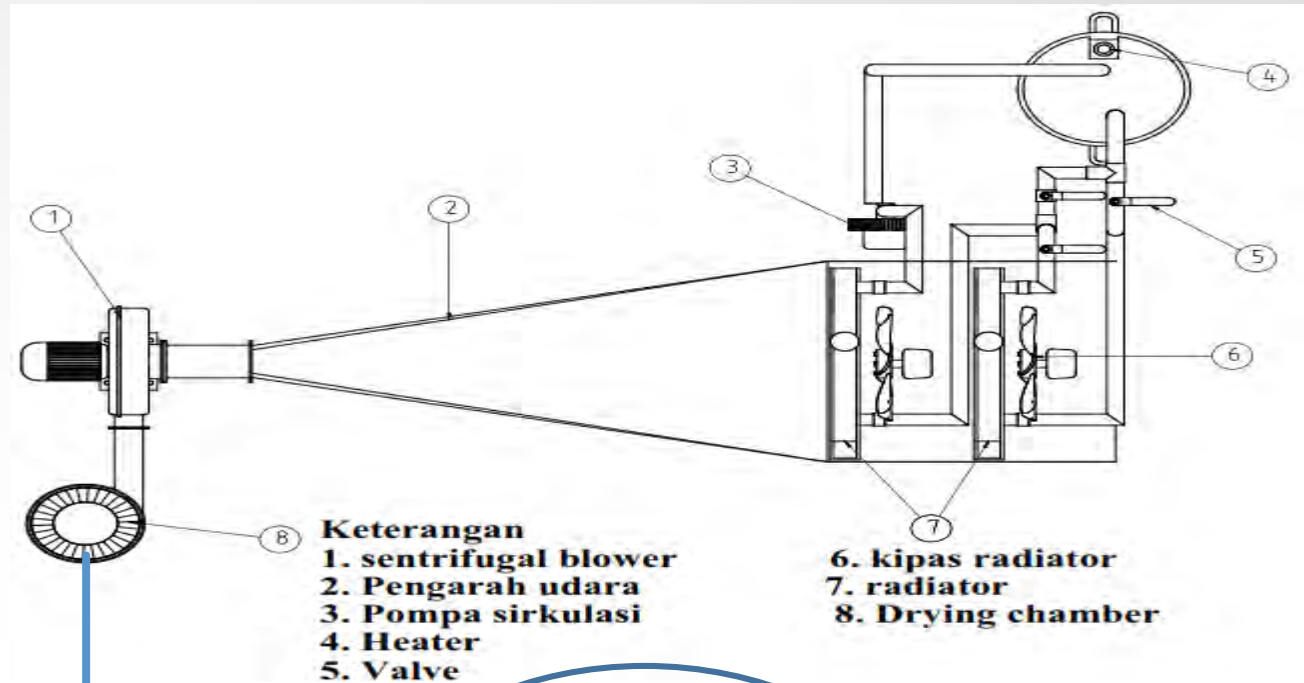
: 2 buah radiator diseri, dan 2 buah kipas.

Termokopel 1 : untuk mengukur temperatur
dry bulb saat masuk chamber

Termokopel 2 : untuk mengukur temperatur
dry bulb saat keluar chamber.

Rh meter 1 : mengukur relative humidity
saat masuk chamber.

Rh meter 2 : mengukur relative humidity
saat keluar dari chamber.



Skema Pengambilan Data



Menimbang masa sampel batu bara dan mencatat **temperatur dan relative humidity** pada ruang pengeringan kemudian Memasukan sampel ke dalam ruang pengeringan



Mengambil serta menimbang 12 sampel batu bara sebesar 2-3 gram (**masa basah**) dan mencatat **temperatur serta relative humidity** di tiap titik pada setiap interval waktu yang ditentukan



Memvariasikan temperatur udara inlet dengan cara mengatur temperatur air pemanas.



Setiap sampel dikeringkan dengan oven dan dicatat **masa keringnya**.

Analisa Hasil Percobaan

Analisa Diagram *Psychrometric* pada udara pengering.

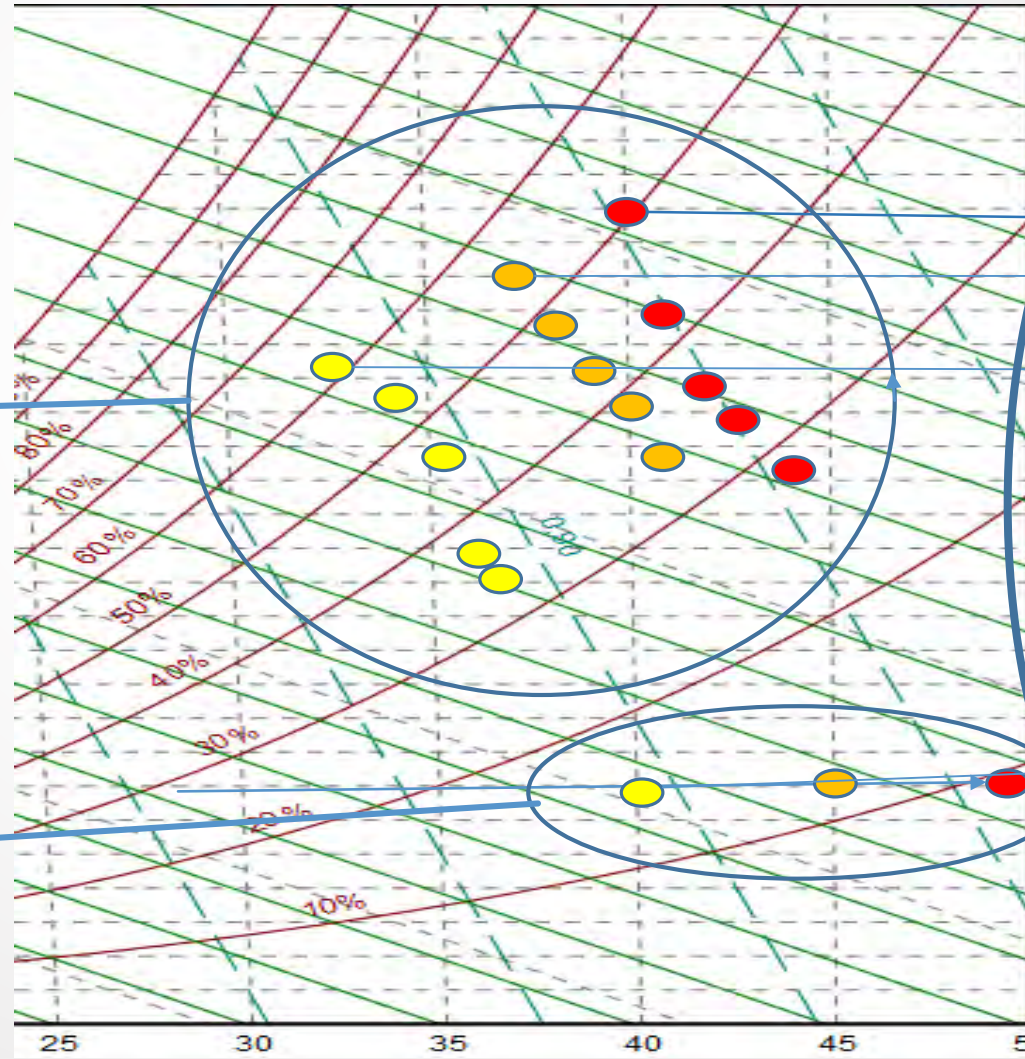
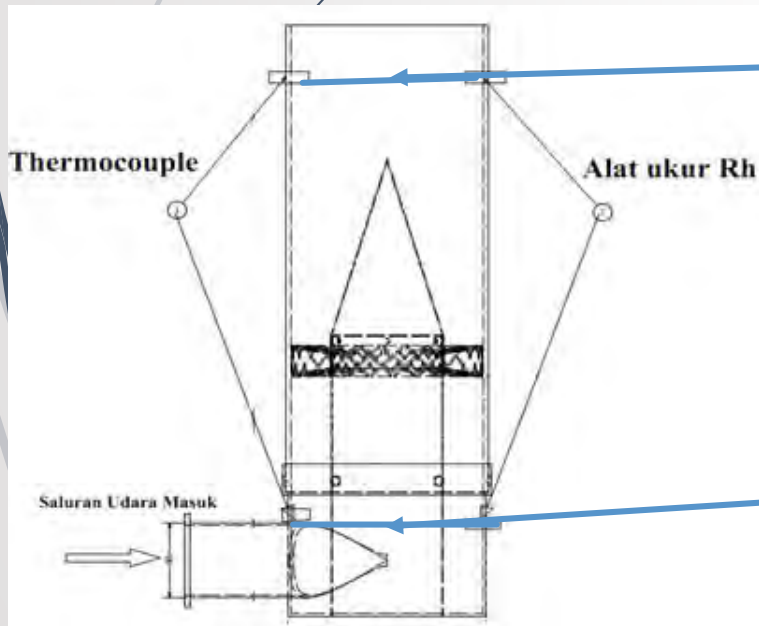
ω Temperatur pengering 50°C terbesar

● $T=50^{\circ}\text{C}$

● $T=45^{\circ}\text{C}$

● $T=40^{\circ}\text{C}$

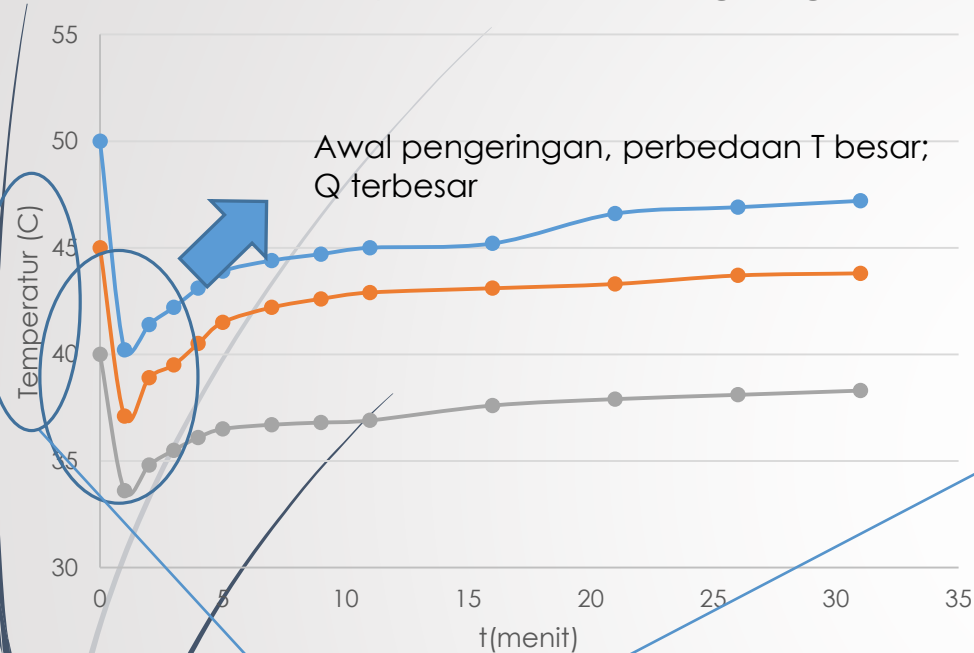
- Diplot 5 titik pada 5 menit pertama



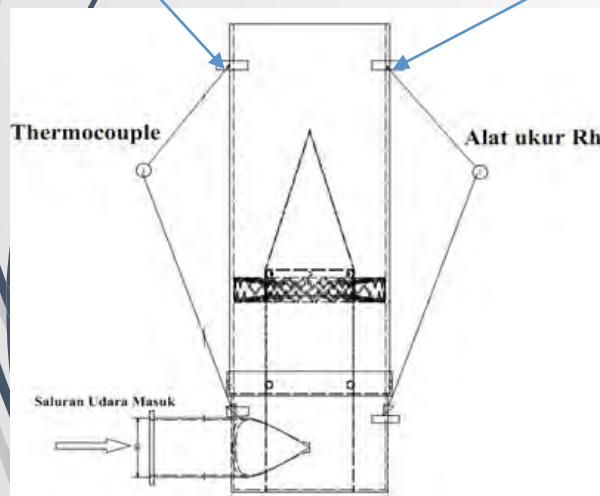
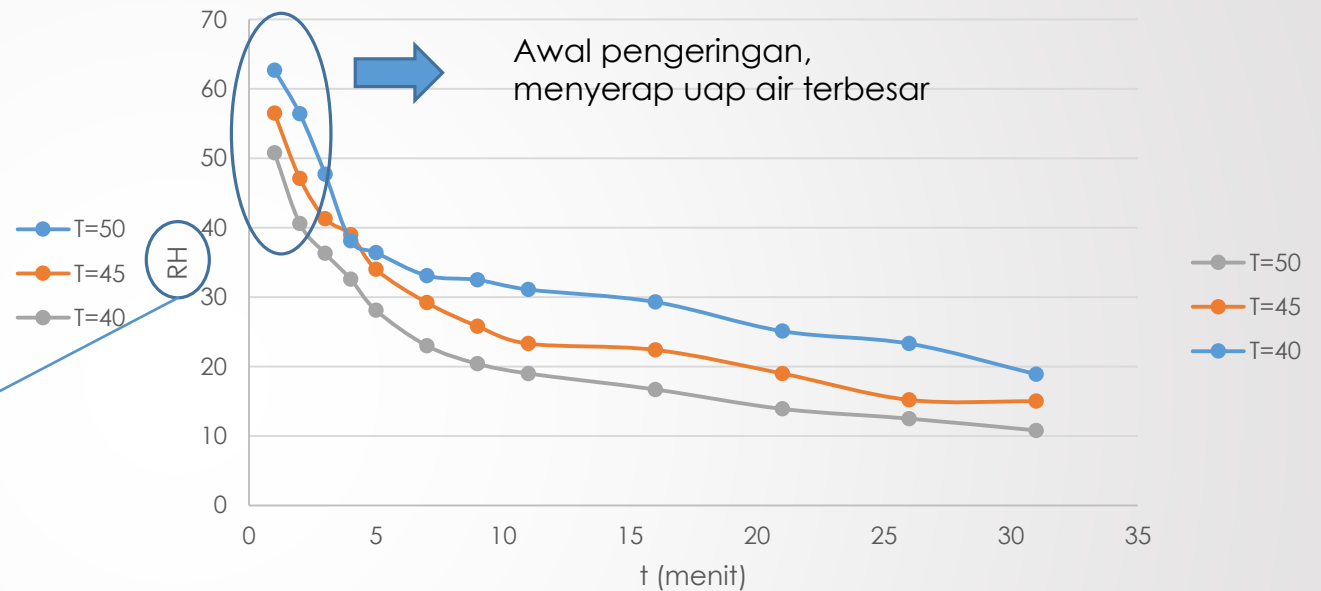
Analisa Hasil Percobaan

Pengaruh variasi temperatur udara pengering terhadap *relative humidity* dan temperatur udara outlet

Temperatur Udara Pengering



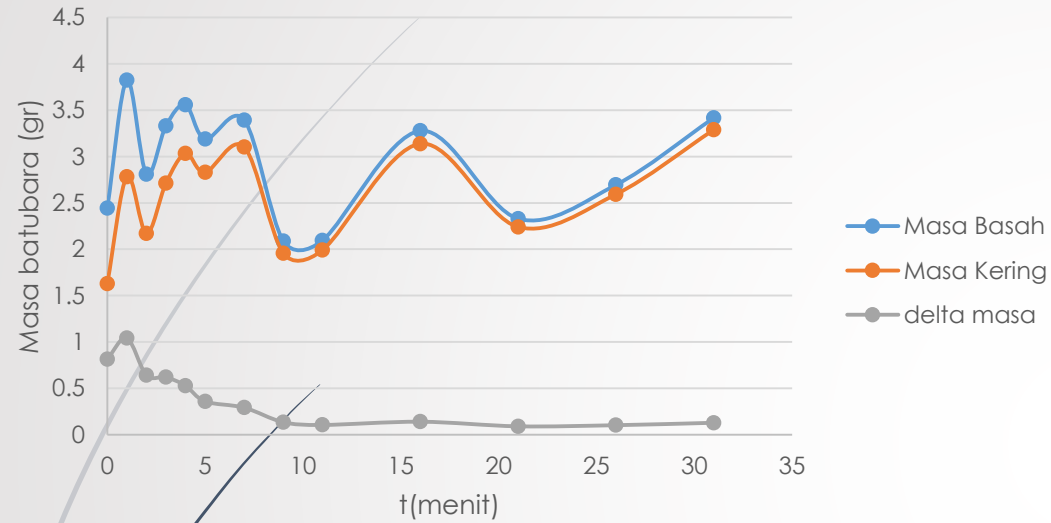
Relative Humidity



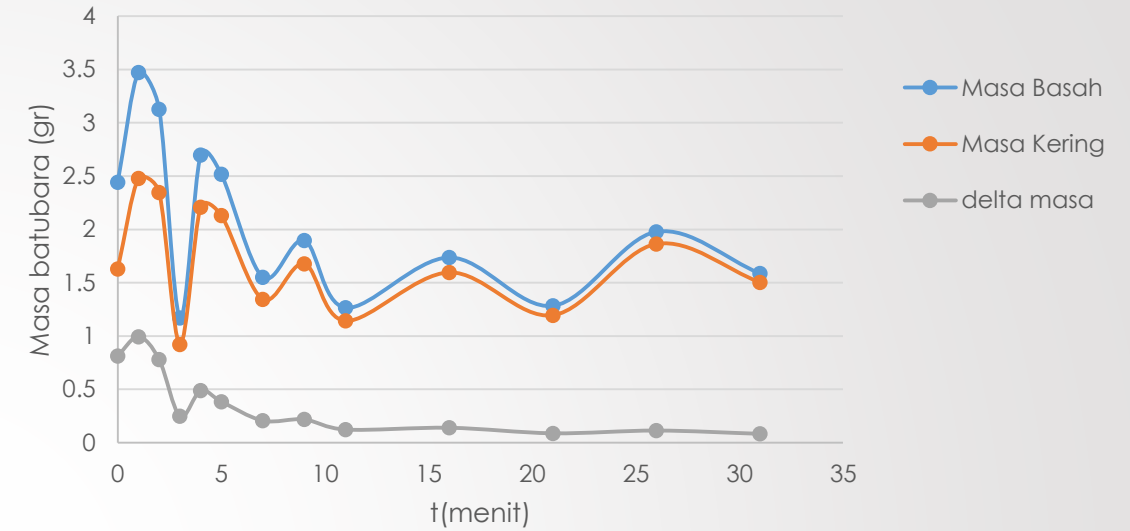
- Temperatur berbanding terbalik dengan RH; ketika temperatur naik, RH akan turun.
- Temperatur udara pengering 50°C mampu menyerap uap air terbesar

Analisa Hasil Percobaan

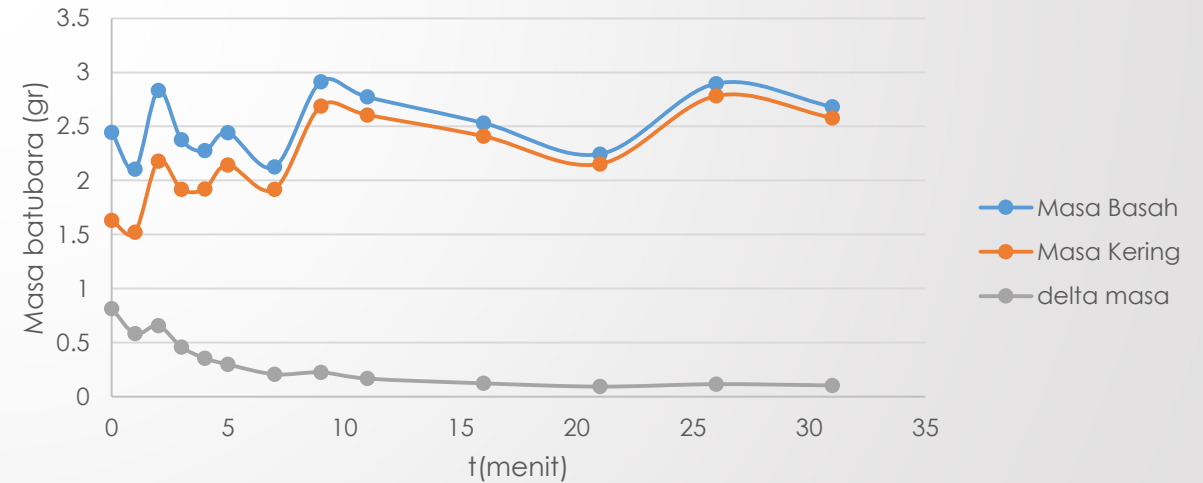
Sampel T=50°C



Sampel T=40°C



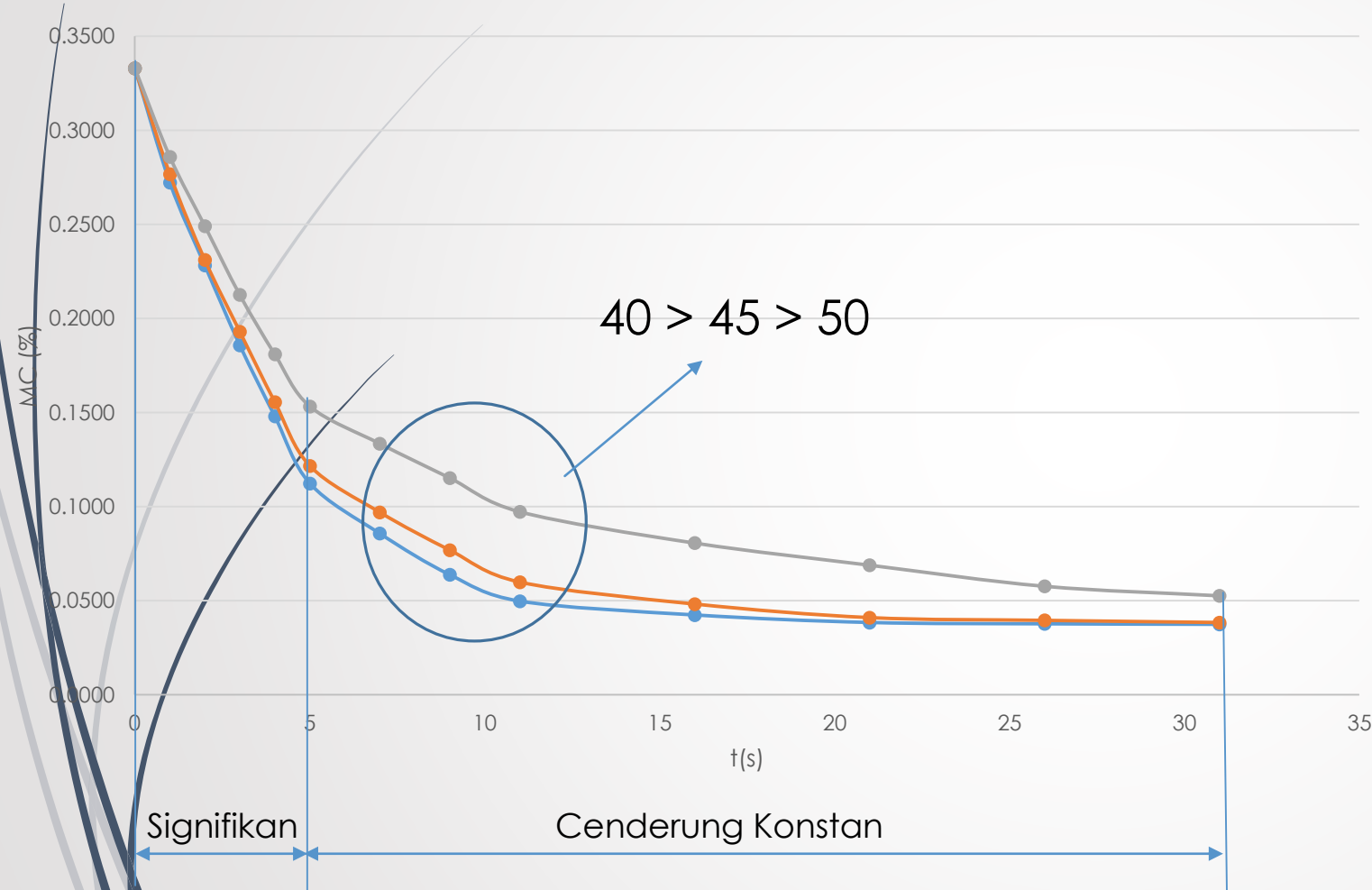
Sampel T=45°C



Analisa Hasil Percobaan

Pengaruh variasi temperatur udara pengering terhadap moisture content

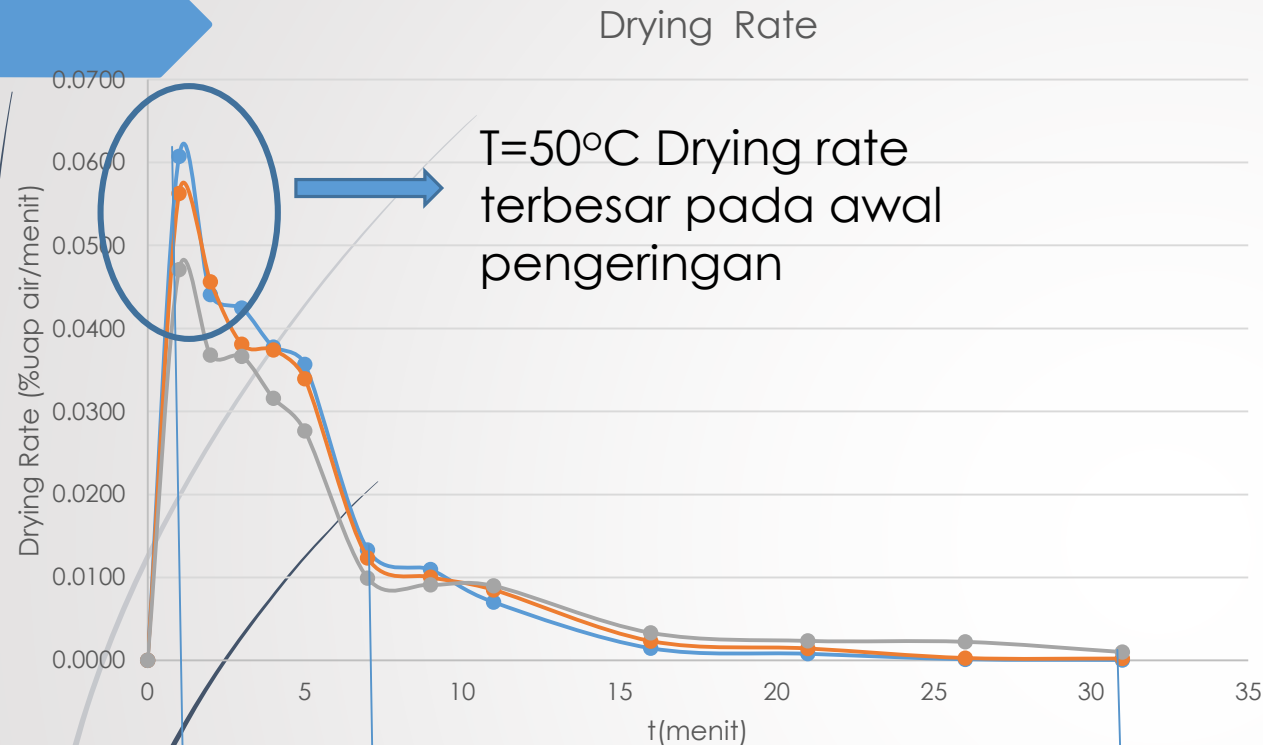
Moisture Content



$$MC (\%)_{wb} = \frac{mp, \text{ basah} - mp, \text{ kering}}{mp, \text{ basah}}$$

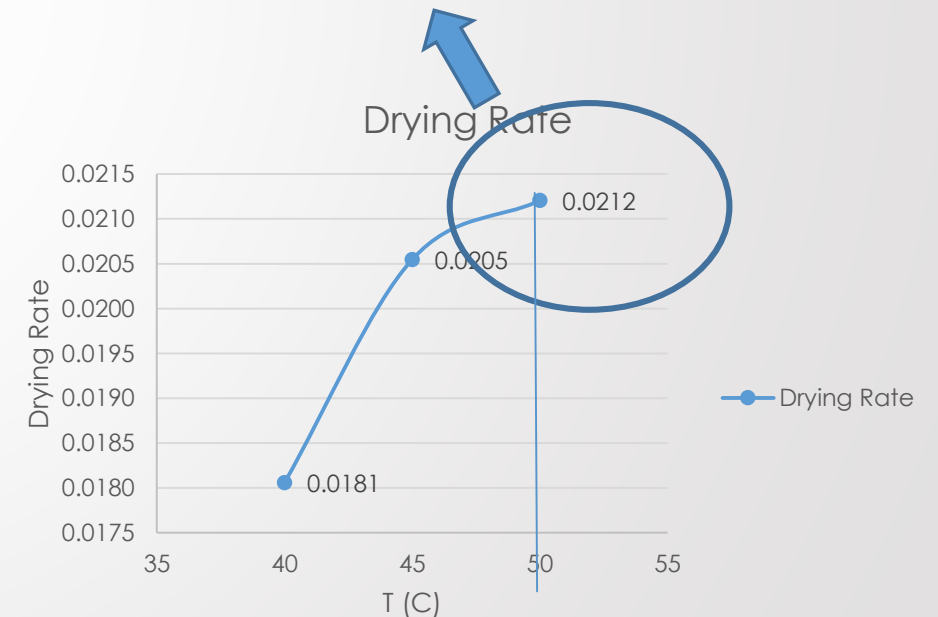


Analisa Hasil Percobaan



$$\text{Drying Rate} = \frac{\Delta MC(\%)wb}{\Delta t}$$

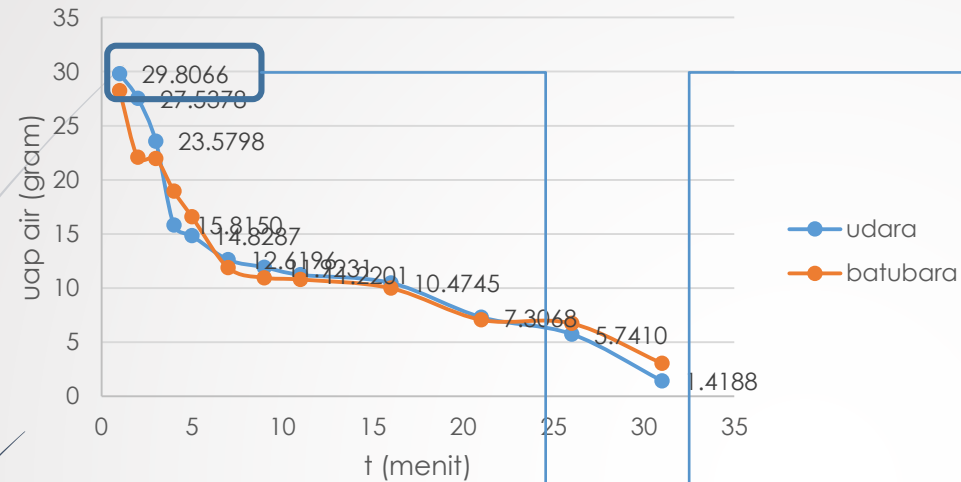
T=50°C memiliki rata-rata drying rate terbesar



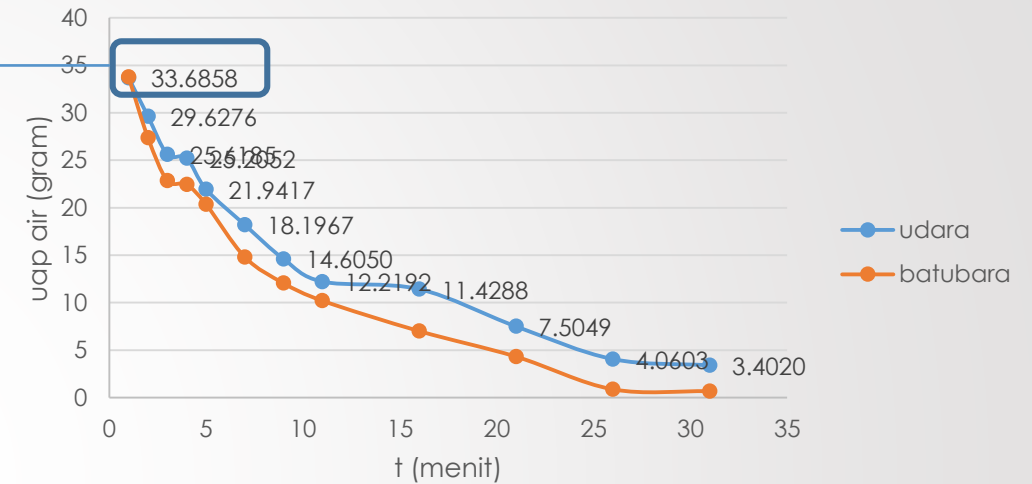
Analisa Hasil Percobaan

Perbandingan moisture content dari sisi batubara dan dari sisi udara

Temperatur Pengering 40 derajat

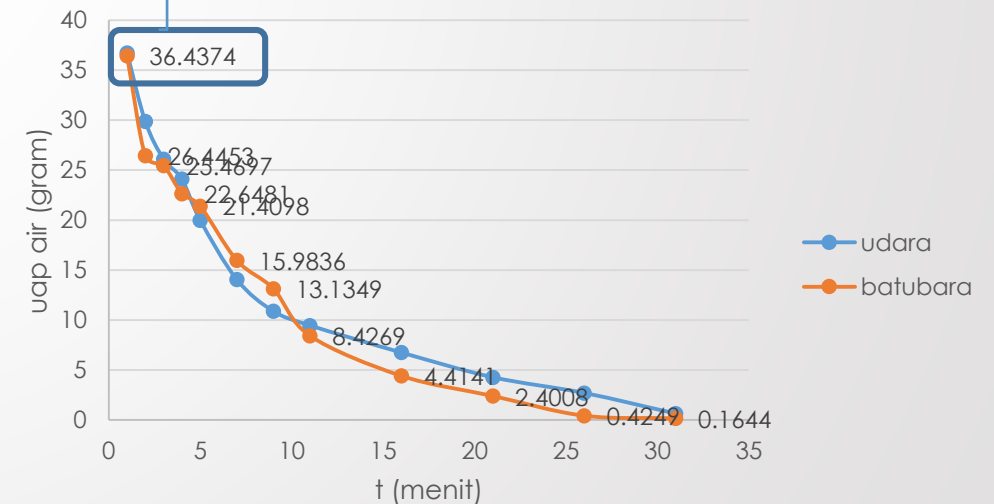


Temperatur Pengering 45 derajat



50 > 45 > 40

Temperatur Pengering 50 derajat

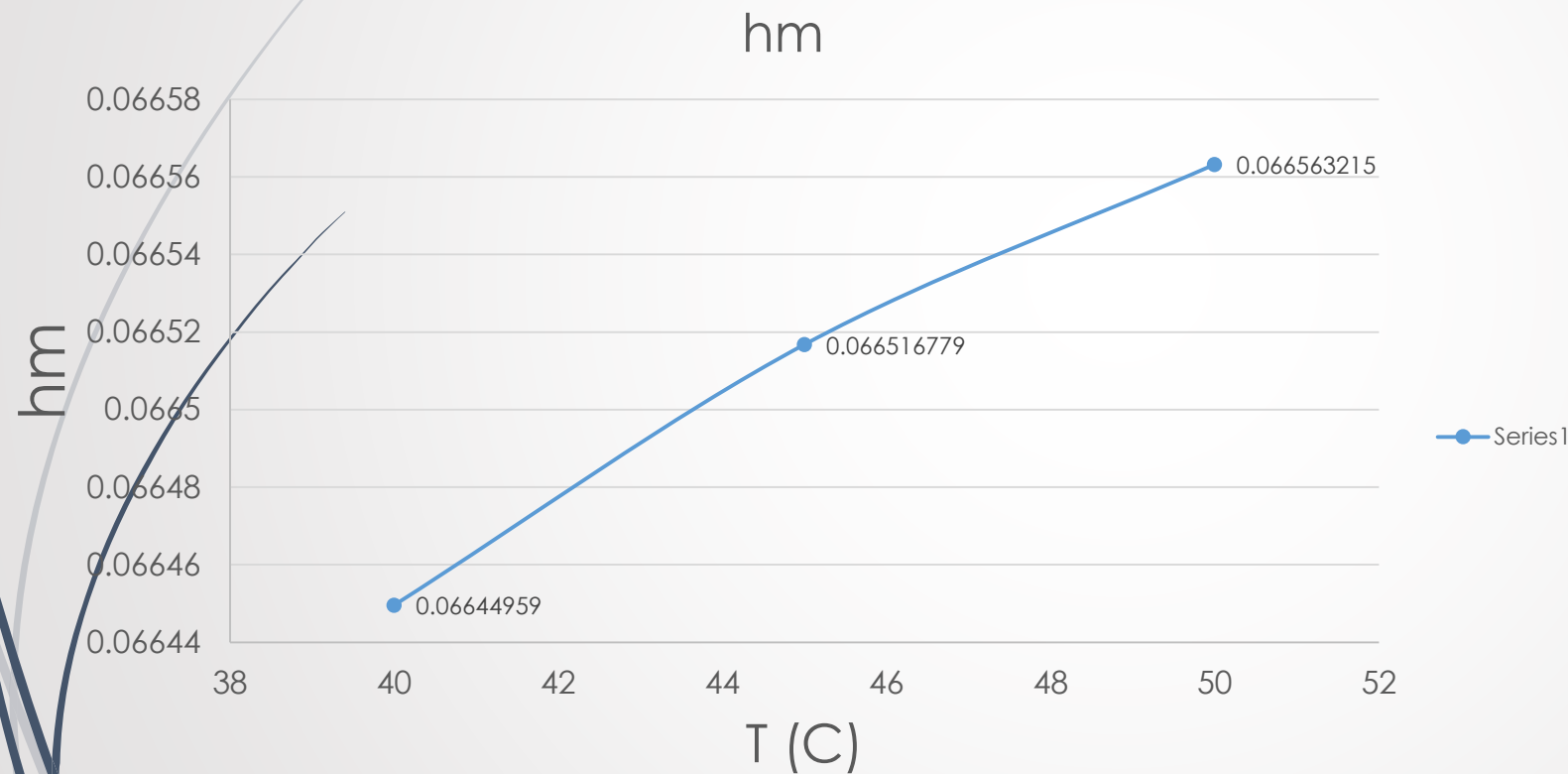


Temperatur udara pengering 50°C mampu menyerap uap air terbanyak pada awal pengeringan

Analisa Hasil Percobaan

Pengaruh variasi temperatur udara pengering terhadap koefisien perpindahan massa

T (C)	T (K)	sc	Sh	hm
40	313	0.70414	16.32400681	0.06644959
45	318	0.72473	16.3405123	0.066516779
50	323	0.74532	16.35191983	0.066563215



$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

$$Sh = 2 + 0,6xRe_D^{\frac{1}{2}} \cdot Sc^{\frac{1}{3}}$$

$$h_m = Sh \cdot \left(\frac{D_{AB}}{D} \right)$$

Re, v , D_{AB} dipengaruhi oleh temperatur

Kesimpulan

- Dari ketiga variasi temperatur udara pengeringan temperatur udara pengering 50°C memiliki temperatur outlet pengeringan yang tertinggi dan relative humidity terendah diikuti oleh temperatur udara pengering 45°C dan 40°C
- Dengan *moisture content* batubara awal sebesar 0.3303, temperatur udara pengering 50°C, 45°C, dan 40°C dapat mengurangi moisture content batubara secara berturut-turut sebesar 0.374, 0.493, dan 0.526
- Dari ketiga variasi temperatur, temperatur udara pengering 50°C memiliki koefisien perpindahan massa sebesar 0,06644, koefisien perpindahan massa pada temperatur udara pengering 45°C sebesar 0,06651 m/s dan koefisien perpindahan massa pada temperatur udara pengering 40°C sebesar 0,06656 m/s.
- Temperatur udara pengering 50°C memiliki rata-rata *drying rate* terbesar yaitu 0.0212 %uap air/menit, diikuti oleh temperatur udara pengering 45°C, kemudian 40°C
- Temperatur pengeringan 50 °C merupakan temperatur pengering terbaik dibandingkan dengan variasi temperatur lebih rendah.



Terima Kasih

